(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 130 095**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **21 12933**

(51) Int Cl[8] : ***H 02 M 1/00*** *(2022.01), H 02 M 1/088*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 03.12.21.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 09.06.23 Bulletin 23/23.

(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) :** *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives Etablissement public à caractère industriel et commercial* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DESPESSE Ghislain, TOUHAMI Mustapha et BRETON Valentin.

(73) **Titulaire(s) :** Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives Etablissement public à caractère industriel et commercial.

(74) **Mandataire(s) :** Lavoix.

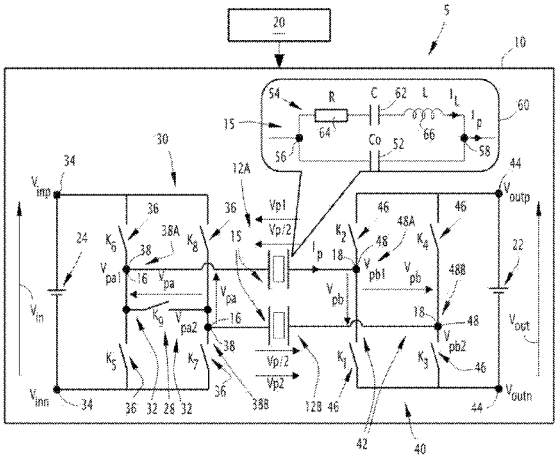
(54) Convertisseur d'énergie électrique avec au moins un couple d'ensembles piézoélectriques et au moins un interrupteur complémentaire de connexion directe entre eux, système de conversion et procédé de pilotage associés.

(57) Convertisseur d'énergie électrique avec au moins un couple d' ensemble s piézoélectriques et au moins un interrupteur complémentaire de connexion directe entre eux, système de conversion et procédé de pilotage associés

Ce convertisseur (10) d'une tension d'entrée (Vin) en au moins une tension de sortie (Vout), comprend un couple de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques ; un premier pont (30) comportant deux premières branches de commutation (32) ayant chacune au moins un premier interrupteur (36) ; un deuxième pont (40) comportant deux deuxièmes branches de commutation (42) ayant au moins un deuxième interrupteur (46) ; chaque ensemble piézoélectrique comportant une première extrémité (16) connectée au premier pont et une deuxième extrémité (18) connectée au deuxième pont ; chaque premier interrupteur étant connecté entre une borne (34) de la tension d'entrée et une première extrémité ; chaque deuxième interrupteur étant connecté entre une borne (44) de la tension de sortie et une deuxième extrémité.

Il comprend au moins un interrupteur complémentaire (28) connecté directement entre des extrémités d'un couple d'ensembles piézoélectriques, connectées à un même pont.

Figure pour l'abrégé : Figure 1



FR 3 130 095 - A1

Description

Titre de l'invention : Convertisseur d'énergie électrique avec au moins un couple d'ensembles piézoélectriques et au moins un interrupteur complémentaire de connexion directe entre eux, système de conversion et procédé de pilotage associés

[0001] La présente invention concerne un convertisseur d'énergie électrique apte à convertir une tension d'entrée en au moins une tension de sortie, et comprenant au moins un couple de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, chaque ensemble piézoélectrique comportant au moins un élément piézoélectrique ; un premier pont de commutation comportant deux premières branches de commutation, chaque première branche de commutation comportant au moins un premier interrupteur ; au moins un deuxième pont de commutation comportant deux deuxièmes branches de commutation, chaque deuxième branche de commutation comportant au moins un deuxième interrupteur ; chaque ensemble piézoélectrique comportant une première extrémité connectée au premier pont de commutation et une deuxième extrémité connectée au deuxième pont de commutation ; chaque premier interrupteur étant connecté entre une borne d'application de la tension d'entrée et une première extrémité respectives ; et chaque deuxième interrupteur étant connecté entre une borne de fourniture de la tension de sortie et une deuxième extrémité respectives.

[0002] L'invention concerne également un système électronique de conversion d'énergie électrique comprenant un tel convertisseur d'énergie électrique et un dispositif électronique de pilotage dudit convertisseur.

[0003] L'invention concerne aussi un procédé de pilotage d'un tel convertisseur d'énergie électrique.

[0004] L'invention concerne le domaine des systèmes électroniques de conversion d'énergie électrique, en particulier ceux comportant un élément piézoélectrique, notamment des systèmes de conversion en une énergie électrique continue, c'est-à-dire les systèmes de conversion continu-continu, également appelés systèmes de conversion DC-DC (de l'anglais *Direct Current - Direct Current*), et les systèmes de conversion alternatif-continu, également appelés systèmes de conversion AC-DC (de l'anglais *Alternating Current - Direct Current*).

[0005] On connait des documents FR 3 086 471 A1 et FR 3 086 472 A1, ainsi que du manuscrit de thèse « *Convertisseurs DC-DC piézoélectrique avec stockage provisoire d'énergie sous forme mécanique* » de Benjamin POLLET, un convertisseur d'énergie électrique du type précité, visible sur la figure 20 des documents FR 3 086 471 A1 et FR 3 086 472 A1, et sur la [Fig.4].15 du manuscrit de thèse précité.

[0006] Les interrupteurs des premier et deuxième ponts de commutation sont commandés de façon cyclique, à la fréquence principale d'oscillation des ensembles piézoélectriques autour de leur mode de résonance présélectionné avec, entre chaque fermeture d'interrupteur(s), une phase dans laquelle les ensembles piézoélectriques sont en circuit ouvert via l'ouverture d'au moins un interrupteur. La fermeture de chaque interrupteur s'effectue avantageusement sous une tension approximativement nulle à ses bornes, et dans tous les cas, la fermeture d'un interrupteur n'engendre jamais une variation importante de tension aux bornes du ou des ensembles piézoélectriques (inférieure à 20%, et avantageusement inférieure à 10%, de la tension d'entrée V_{in} ou de la tension de sortie V_{out}).

[0007] En régime établi, un cycle de commande comporte typiquement six phases distinctes successives, à savoir trois phases à tension sensiblement constante aux bornes de chaque élément piézoélectrique et trois phases à charge sensiblement constante aux bornes dudit élément piézoélectrique, avec une alternance entre phases à tension sensiblement constante et phases à charge sensiblement constante.

[0008] Comme indiqué dans le document FR 3 086 471 A1 ou encore dans le manuscrit de thèse, un avantage qu'il y a à utiliser deux éléments piézoélectriques est que la tension de sortie est ainsi isolée de la tension d'entrée, sans pour autant qu'il soit nécessaire d'utiliser un transformateur.

[0009] L'isolation est capacitive et ne se fait donc pas avec un transformateur qui est source de pertes, mais par le fait que l'impédance du résonateur piézoélectrique est très élevée en basse fréquence et bloque toute propagation de la tension à basse fréquence de l'entrée vers la sortie, et inversement. En outre, la composante éventuelle de mode commun d'entrée égale à la moitié de la somme des potentiels en les bornes de fourniture de la tension d'entrée ne se répercute pas sur la composante de mode commun de sortie égale à la moitié de la somme des potentiels en les bornes d'application de la tension de sortie et inversement. Les potentiels ou composantes de modes commun d'entrée et de sortie peuvent ainsi évoluer librement, en basse fréquence, l'un par rapport à l'autre. En effet, chaque élément piézoélectrique est modélisé sous forme d'un condensateur et d'une branche résonante connectée en parallèle du condensateur, la capacité dudit condensateur étant appelée capacité parallèle, ou encore capacité de référence, et notée C_0. Un signal basse fréquence de type 50/60 Hz sera alors filtré par la haute impédance (par exemple 3,1 MΩ pour C_0 = 1 nF à 50 Hz) de chacune des capacités bloquées des deux résonateurs piézoélectriques créant ainsi une isolation entre les parties entrées et sortie du convertisseur.

[0010] Cet avantage est présent même par rapport à un transformateur piézoélectrique, dans lequel toute l'énergie apportée au primaire n'est pas complètement transmise au secondaire et le primaire doit par ailleurs mettre en mouvement une masse plus grande, à

savoir celle du primaire plus celle du secondaire, ce qui engendre des pertes.

[0011] Toutefois, le fonctionnement d'un tel convertisseur n'est pas optimal autour de la fréquence de résonance des éléments piézoélectriques.

[0012] Le but de l'invention est alors de proposer un convertisseur d'énergie électrique comportant au moins deux ensembles piézoélectriques, et un procédé de pilotage associé, permettant un pilotage amélioré du convertisseur, notamment avec davantage de valeurs de tension possibles lors d'une phase respective à tension sensiblement constante.

[0013] A cet effet, l'invention a pour objet un convertisseur d'énergie électrique apte à convertir une tension d'entrée en au moins une tension de sortie, le convertisseur comprenant :

[0014] - au moins un couple de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, chaque ensemble piézoélectrique comportant au moins un élément piézoélectrique,

[0015] - un premier pont de commutation comportant deux premières branches de commutation, chaque première branche de commutation comportant au moins un premier interrupteur ;

[0016] - au moins un deuxième pont de commutation comportant deux deuxièmes branches de commutation, chaque deuxième branche de commutation comportant au moins un deuxième interrupteur ;

[0017] chaque ensemble piézoélectrique comportant une première extrémité connectée au premier pont de commutation et une deuxième extrémité connectée au deuxième pont de commutation ;

[0018] chaque premier interrupteur étant connecté entre une borne d'application de la tension d'entrée et une première extrémité respectives ;

[0019] chaque deuxième interrupteur étant connecté entre une borne de fourniture de la tension de sortie et une deuxième extrémité respectives ; et

[0020] - au moins un interrupteur complémentaire connecté directement entre des extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites extrémités reliées directement entre elles via un interrupteur complémentaire respectif étant connectées à un même pont de commutation respectif.

[0021] Avec le convertisseur d'énergie électrique selon l'invention, l'interrupteur complémentaire permet de connecter directement entre elles les premières extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques et de forcer alors à la valeur nulle la tension entre ces premières extrémités, ou bien de connecter directement entre elles les deuxièmes extrémités dudit couple d'ensembles piézoélectriques et de forcer alors la tension entre ces deuxièmes extrémités à la valeur nulle. L'interrupteur complémentaire permet alors d'offrir des valeurs additionnelles possibles pour la tension piézoélectrique totale aux bornes du couple d'ensembles pié-

zoélectriques, indépendamment de l'état, passant ou ouvert, des interrupteurs des branches de commutation, connectés entre ces extrémités du couple d'ensembles piézoélectriques et les bornes d'application de la tension d'entrée ou de fourniture de la tension de sortie.

[0022] Autrement dit, le convertisseur d'énergie électrique selon l'invention offre un pilotage amélioré, tout en autorisant en outre une commande des interrupteurs des branches de commutation permettant bien de transférer de la puissance de l'entrée vers la sortie, mais sans injecter de composante de mode commun.

[0023] Durant les phases à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques, la tension aux bornes des ensembles piézoélectriques ne varie pas et ne peut pas induire une tension de mode commun haute fréquence.

[0024] De préférence, durant les phases à charge sensiblement constante aux bornes desdits ensembles piézoélectriques, la position fermée d'au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs connectés directement au premier ensemble piézoélectrique et d'au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique en même temps, tous les autres interrupteurs des premières et deuxièmes branches de commutation étant en position ouverte, permet d'éviter la connexion de l'un ou l'autre des ensembles piézoélectriques entre un potentiel de la tension d'entrée et un potentiel de la tension de sortie, et alors d'éviter l'introduction d'une composante de mode commun haute fréquence entre la tension d'entrée et la tension de sortie.

[0025] En outre, dans des configurations très élévateur et très abaisseur, les premières branches de commutation comportent de préférence un seul premier interrupteur, ou bien les deuxièmes branches de commutation comportent de préférence un seul deuxième interrupteur, ce qui permet d'économiser deux interrupteurs par rapport aux configurations très élévateur et très abaisseur du convertisseur de l'état de la technique avec deux ponts en H, tel que celui visible sur la figure 20 des documents FR 3 086 471 A1 et FR 3 086 472 A1, et sur la [Fig.4].15 du manuscrit de thèse précité.

[0026] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le convertisseur d'énergie électrique comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

[0027] - le convertisseur comprend deux interrupteurs complémentaires, un premier interrupteur complémentaire étant connecté directement entre les premières extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités étant connectées au premier pont de commutation et un deuxième interrupteur complémentaire étant connecté directement entre les deuxièmes extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités étant connectées au deuxième pont de commutation ;

[0028] - le convertisseur d'énergie électrique est apte à convertir la tension d'entrée en plusieurs tensions de sortie distinctes, et comporte

[0029] pour chaque tension de sortie respective :

[0030] + un deuxième pont de commutation respectif ;

[0031] + un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques ;

[0032] - le convertisseur comprend en outre au moins un circuit d'aide à la commutation, chaque circuit d'aide à la commutation étant connecté entre des extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites extrémités reliées entre elles via un circuit d'aide à la commutation respectif étant connectées à un même pont de commutation respectif, chaque circuit d'aide à la commutation étant configuré pour, via la circulation d'un courant préalablement reçu, décharger une capacité parasite d'un interrupteur du pont de commutation respectif auquel il est connecté, et respectivement charger une capacité parasite d'un autre interrupteur dudit pont de commutation ;

[0033] - le convertisseur comprend deux circuits d'aide à la commutation, un premier circuit d'aide à la commutation étant connecté les premières extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités étant connectées au premier pont de commutation et un deuxième circuit d'aide à la commutation étant connecté entre les deuxièmes extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités étant connectées au deuxième pont de commutation ;

[0034] - chaque circuit d'aide à la commutation comporte un élément choisi parmi le groupe consistant en : une inductance ; un premier ensemble formé d'une inductance et d'une diode connectées en série ; un deuxième ensemble formé d'une inductance et d'un condensateur connectés en série ; et un élément piézoélectrique additionnel ;

[0035] chaque circuit d'aide à la commutation étant de préférence constitué d'un élément choisi parmi ledit groupe ;

[0036] - chaque ensemble piézoélectrique est constitué selon l'une des constitutions parmi le groupe consistant en : un unique élément piézoélectrique ; plusieurs éléments piézoélectriques connectés en série ; plusieurs éléments piézoélectriques connectés en parallèle ; et un agencement de plusieurs branches piézoélectriques parallèles, chaque branche comportant un ou plusieurs éléments piézoélectriques connectés en série ;

[0037] - chaque première branche de commutation est connectée entre deux bornes d'application de la tension d'entrée et comporte au moins deux premiers interrupteurs connectés en série et reliés entre eux en un premier point milieu, chaque premier point milieu étant alors connecté à une première extrémité respective ;

[0038] - chaque deuxième branche de commutation est connectée entre deux bornes de fourniture d'une tension de sortie respective et comporte au moins deux deuxièmes in-

terrupteurs connectés en série et reliés entre eux en un deuxième point milieu, chaque deuxième point milieu étant alors connecté à une deuxième extrémité respective.

[0039] L'invention a aussi pour objet un système électronique de conversion d'énergie électrique comprenant un convertisseur d'énergie électrique et un dispositif électronique de pilotage du convertisseur d'énergie électrique, le convertisseur d'énergie électrique étant tel que défini ci-dessus.

[0040] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le système électronique de conversion d'énergie électrique comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

[0041] - le dispositif électronique de pilotage est configuré pour commander, lors d'un cycle respectif de résonance des ensembles piézoélectriques, une commutation de chacun des interrupteurs pour alterner des phases à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques et des phases à charge sensiblement constante aux bornes desdits ensembles piézoélectriques ;

[0042] - le dispositif électronique de pilotage est configuré en outre pour, lors d'au moins une phase à tension sensiblement constante, commander au moins un interrupteur complémentaire respectif en position fermée ;

[0043] - le dispositif électronique de pilotage est configuré pour, lors de chaque phase à charge sensiblement constante, commander en position fermée en même temps au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs connectés directement au premier ensemble piézoélectrique et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique, et en position ouverte tous les autres interrupteurs des premières et deuxièmes branches de commutation ;

[0044] - en l'absence de commande d'un interrupteur complémentaire respectif en position fermée lors d'une phase respective à tension sensiblement constante, la valeur de la tension lors de la phase à tension sensiblement constante est choisie parmi le groupe de valeurs consistant en : différence entre la valeur de la tension d'entrée et celle de la tension de sortie ; différence entre la valeur de la tension de sortie et celle de la tension d'entrée ; somme des valeurs des tensions d'entrée et de sortie ; et opposé de la somme des valeurs des tensions d'entrée et de sortie ; et

[0045] avec la commande d'au moins un interrupteur complémentaire respectif en position fermée lors d'une phase respective à tension sensiblement constante, ledit groupe de valeurs comporte en outre : valeur de la tension d'entrée ; opposé de la valeur de la tension d'entrée ; valeur de la tension de sortie ; opposé de la valeur de la tension de sortie ; et valeur nulle ;

[0046] - ledit groupe de valeurs comporte la valeur de la tension d'entrée et l'opposé de la valeur de la tension d'entrée si le convertisseur comprend un interrupteur complé-

mentaire respectif connecté directement entre les deuxièmes extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités étant connectées au deuxième pont de commutation ;

[0047] ledit groupe de valeurs comporte la valeur de la tension de sortie et l'opposé de la valeur de la tension de sortie si le convertisseur comprend un interrupteur complémentaire respectif connecté directement entre les premières extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités étant connectées au premier pont de commutation ;

[0048] ledit groupe de valeurs comporte la valeur nulle, si le convertisseur comprend deux interrupteurs complémentaires, un premier interrupteur complémentaire étant connecté directement entre les premières extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités étant connectées au premier pont de commutation et un deuxième interrupteur complémentaire étant connecté directement entre les deuxièmes extrémités d'un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités étant connectées au deuxième pont de commutation ;

[0049] - le système électronique de conversion d'énergie électrique est un système de conversion en une énergie électrique continue, tel qu'un système de conversion continu-continu ou un système de conversion alternatif-continu.

[0050] L'invention a également pour objet un procédé de pilotage d'un convertisseur d'énergie électrique, le convertisseur étant tel que défini ci-dessus, le procédé étant mis en œuvre par un dispositif électronique de pilotage et comprenant la commande, lors d'un cycle respectif de résonance des ensembles piézoélectriques, d'une commutation de chacun des interrupteurs pour alterner des phases à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques et des phases à charge sensiblement constante aux bornes desdits ensembles piézoélectriques,

[0051] lors d'au moins une phase à tension sensiblement constante, au moins un interrupteur complémentaire respectif est commandé en position fermée.

[0052] Suivant un autre aspect avantageux de l'invention, le procédé de pilotage comprend la caractéristique suivante :

[0053] - lors de chaque phase à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs connectés directement au premier ensemble piézoélectrique et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique sont commandés en position fermée en même temps, et tous les autres interrupteurs des premières et deuxièmes branches de commutation sont commandés en position ouverte.

[0054] Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non

limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

[0055] [Fig.1] la [Fig.1] est une représentation schématique d'un système électronique de conversion d'énergie électrique selon l'invention, comprenant un convertisseur d'énergie électrique et un dispositif électronique de pilotage dudit convertisseur, le convertisseur comportant un couple de premier et deuxième ensembles piézo-électriques, un premier pont de commutation comportant deux premières branches de commutation, chaque première branche de commutation comportant deux premiers interrupteurs, un deuxième pont de commutation comportant deux deuxièmes branches de commutation, chaque deuxième branche de commutation comportant deux deuxièmes interrupteurs, chaque ensemble piézoélectrique comportant une première extrémité connectée au premier pont de commutation et une deuxième extrémité connectée au deuxième pont de commutation, chaque premier interrupteur étant connecté entre une borne d'application de la tension d'entrée et une première extrémité respectives, chaque deuxième interrupteur étant connecté entre une borne de fourniture de la tension de sortie et une deuxième extrémité respectives, et le convertisseur comportant en outre un interrupteur complémentaire connecté directement entre les premières extrémités dudit couple d'ensembles piézoélectriques ;

[0056] [Fig.2] la [Fig.2] est un ensemble de courbes représentant un courant circulant dans les ensembles piézoélectriques normalisée à une amplitude de 1, une déformation mécanique totale des ensembles piézoélectriques normalisée à une amplitude de 1, une tension entre des extrémités dudit couple d'ensembles piézoélectriques, une tension entre les autres extrémités dudit couple d'ensembles piézoélectriques, ainsi qu'une tension totale des ensembles piézoélectriques correspondant à la somme desdites tensions élémentaires aux bornes de chaque ensemble piézoélectrique, et ce pour une configuration abaisseur de tension ;

[0057] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue analogue à celle de la [Fig.1], selon un autre exemple du convertisseur d'énergie électrique, où chaque deuxième branche de commutation comporte un seul deuxième interrupteur et l'interrupteur complémentaire est connecté directement entre les deuxièmes extrémités dudit couple d'ensembles piézo-électriques ;

[0058] [Fig.4] la [Fig.4] est une vue analogue à celle de la [Fig.2] et selon l'exemple de la [Fig.3], pour une autre configuration de conversion d'énergie électrique, à savoir une configuration très élévateur de tension ;

[0059] [Fig.5] la [Fig.5] est une vue analogue à celle de la [Fig.1], selon un autre exemple du convertisseur d'énergie électrique, où le convertisseur d'énergie électrique est apte à convertir la tension d'entrée en plusieurs tensions de sortie distinctes, et comporte - pour chaque tension de sortie respective - un couple respectif de premier et deuxième ensembles piézoélectriques et un deuxième pont de commutation respectif, chaque

deuxième branche de commutation étant connectée entre deux bornes de fourniture de ladite tension de sortie respective ;

[0060] [Fig.6] la [Fig.6] est une vue analogue à celle de la [Fig.1], selon un aspect complémentaire où le convertisseur comprend en outre un circuit d'aide à la commutation connecté entre les premières extrémités du couple d'ensembles piézoélectriques ;

[0061] [Fig.7] la [Fig.7] est une représentation schématique de différents types de circuit d'aide à la commutation ;

[0062] [Fig.8] la [Fig.8] est une vue analogue à celle de la [Fig.2], selon l'aspect complémentaire de la [Fig.6] ;

[0063] [Fig.9] la [Fig.9] est une vue analogue à celle de la [Fig.3], selon l'aspect complémentaire avec le circuit d'aide à la commutation connecté entre les deuxièmes extrémités du couple d'ensembles piézoélectriques ; et

[0064] [Fig.10] la [Fig.10] est une vue analogue à celle de la [Fig.4], selon l'aspect complémentaire de la [Fig.9].

[0065] L'expression « sensiblement égal(e) à » définit une relation d'égalité à plus ou moins 10%, de préférence à plus ou moins 5%.

[0066] Sur la [Fig.1], un système électronique de conversion d'énergie électrique 5 comprend un convertisseur d'énergie électrique 10 comportant un couple de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, chaque ensemble piézoélectrique 12A,12B comportant au moins un élément piézoélectrique 15, ainsi que plusieurs interrupteurs K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8 aptes à être commandés pour alterner des phases II, IV, VI à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B et des phases I, III, V à charge sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B ; et un dispositif électronique 20 de pilotage du convertisseur d'énergie électrique 10.

[0067] Le système électronique de conversion d'énergie électrique 5 est typiquement un système de conversion en une énergie électrique continue, tel qu'un système de conversion continu-continu apte à convertir une première énergie ou tension électrique continue reçue en entrée en une deuxième énergie ou tension électrique continue délivrée en sortie, ou encore un système de conversion alternatif-continu apte à convertir une énergie ou tension électrique alternative reçue en entrée en une énergie ou tension électrique continue délivrée en sortie du système de conversion 5.

[0068] Lorsque le système de conversion d'énergie électrique 5 est un système de conversion alternatif-continu, le système de conversion d'énergie électrique 5 comprend de préférence en outre un redresseur de tension, non représenté, connecté en entrée du convertisseur d'énergie électrique 10 et apte à redresser la tension électrique alternative reçue en entrée du système de conversion 5 pour délivrer une tension électrique redressée en entrée du convertisseur 10, le convertisseur d'énergie électrique

10 étant de préférence un convertisseur continu-continu apte à convertir une énergie ou tension électrique continue en une autre énergie ou tension électrique continue. Le redresseur de tension est par exemple un pont redresseur, tel qu'un pont de diodes. En variante, le redresseur de tension est formé en partie par des interrupteurs du convertisseur 10.

[0069] L'homme du métier observera que ces différents exemples pour le système conversion 5, qu'il s'agisse d'un système de conversion continu-continu ou bien d'un système de conversion alternatif-continu, sont également présentés dans les documents FR 3 086 471 A1 et FR 3 086 472 A1, notamment en regard de leurs figures 1 et 2.

[0070] Le convertisseur d'énergie électrique 10 est de préférence un convertisseur continu-continu, et est également appelé convertisseur DC-DC. Le convertisseur continu-continu a généralement pour rôle de réguler une tension d'alimentation d'une charge 22 à une valeur stable, en étant alimenté par une source d'énergie 24 fournissant une tension sensiblement continue. La source d'énergie 24 est par exemple une batterie ou un panneau solaire.

[0071] Le convertisseur d'énergie électrique 10 est alors configuré pour élever la valeur de la tension continue entre son entrée et sa sortie, et est alors également appelé convertisseur continu-continu élévateur ; ou bien est configuré pour abaisser la valeur de la tension continue entre son entrée et sa sortie, et est alors appelé convertisseur continu-continu abaisseur.

[0072] Le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer N tension(s) de sortie distincte(s), à partir de E tension(s) d'entrée distincte(s), E et N étant chacun un nombre entier supérieur ou égal à 1.

[0073] Dans l'exemple de la [Fig.1], le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer une tension de sortie, notée V_{out}, à partir d'une tension d'entrée, notée V_{in}, le nombre E de tension(s) d'entrée et le nombre N de tension(s) de sortie étant alors chacun égal à 1.

[0074] Dans l'exemple de la [Fig.5], le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer plusieurs tensions de sortie distinctes, notées V_{out_j} où j est un indice entier compris entre 1 et N, à partir de la tension d'entrée V_{in}, le nombre N de tensions de sortie distinctes étant alors supérieur à 1. Selon cet exemple, le convertisseur 10 est typiquement connecté à plusieurs charges 22, comme représenté sur la [Fig.5].

[0075] Le convertisseur d'énergie électrique 10 comporte les ensembles piézoélectriques 12A, 12B formés chacun d'un ou plusieurs éléments piézoélectriques 15, et le dispositif de pilotage 20 est configuré pour faire fonctionner le matériau piézo-électrique des éléments piézoélectriques 15 à leur résonance afin d'exploiter des phases de transfert de charge permettant de s'affranchir de l'utilisation d'un élément inductif, tout en régulant la tension de sortie en conservant la résonance du matériau

piézoélectrique, c'est-à-dire avec des cycles de commutation répétés à une fréquence de fonctionnement dépendant de la fréquence de résonance des éléments piézo-électriques 15, et en ajustant les durées entre les commutations respectives à l'intérieur du cycle de résonance.

[0076] En régime établi, les ensembles piézoélectriques 12A, 12B échangent une charge et une puissance sensiblement nulle sur un cycle de résonance, aux pertes près. Autrement dit, chaque ensemble piézoélectrique 12A, 12B redonne, sensiblement autant qu'il reçoit, d'énergie et de charge sur une période. Deux conditions de fonctionnement s'appliquent alors au régime permanent/établi, à savoir l'équilibre de charge et l'équilibre d'énergie sur une période de résonance. Même si durant les transitoires (démarrage, variation des paliers de tension, changement du courant de sortie) cette équilibre n'est pas respecté, il faut néanmoins qu'il puisse être atteint en régime établi. Ceci impose notamment un certain agencement des paliers de tension durant la période de résonance. Par exemple, pour un fonctionnement à trois paliers de tension, les deux paliers de tension extrêmes sont commandés lors d'une demi-période d'une polarité donnée d'un courant I_L circulant dans les éléments piézoélectriques 15, et le palier de tension intermédiaire est commandé lors de l'autre demi-période de polarité opposée du courant I_L circulant dans les éléments piézoélectriques 15.

[0077] Comme connu en soi, l'oscillation mécanique des éléments piézoélectriques 15 est approximativement sinusoïdale, ainsi que représenté sur les figures 2, 4, 8 et 10 par la courbe 26 illustrant la déformation mécanique totale des éléments piézoélectriques 15 au cours d'un cycle de résonance respectif. La déformation mécanique totale des éléments piézoélectriques 15 est la somme de déformations mécaniques élémentaires de chacun des éléments piézoélectriques 15.

[0078] Une augmentation ou une diminution de l'énergie stockée sur une période conduit respectivement à une augmentation ou à une diminution de l'amplitude d'oscillation. Par ailleurs, lors d'une phase à charge sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B, c'est-à-dire lorsque les éléments piézo-électriques 15 sont placés dans un circuit électrique sensiblement ouvert, avec un faible échange de charges électriques entre les éléments piézoélectriques 15 et l'extérieur, une augmentation de l'amplitude des oscillations engendre une augmentation de la vitesse de variation de la tension V_p aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B, et lors d'une phase II, IV, VI à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B, cette augmentation d'amplitude d'oscillation conduit à une augmentation du courant I_L circulant dans les éléments piézoélectriques 15.

[0079] Par charge sensiblement constante, on entend un échange d'une charge avec l'extérieur qui est inférieur à 10% de la charge qui aurait été échangée avec l'extérieur

si la tension avait été maintenue constante. Autrement dit, par charge sensiblement constante, on entend une variation de charge inférieure à 10% de la charge qui aurait été échangée avec l'extérieur des ensembles piézoélectriques 12A, 12B si la tension aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B avait été maintenue constante sur la durée temporelle considérée.

[0080] Par circuit électrique sensiblement ouvert, on entend un circuit dont un éventuel courant de fuite conduit à une variation de charge des ensembles piézoélectriques 12A, 12B inférieure à 10% de la charge qui aurait été échangée avec l'extérieur des ensembles piézoélectriques 12A, 12B si la tension aux bornes des ensembles piézo-électriques 12A, 12B avait été maintenue constante sur la durée temporelle considérée.

[0081] Par tension sensiblement constante, on entend une variation de tension inférieure à 20%, de préférence inférieure à 10%, de la tension d'entrée ou de sortie du convertisseur 10. À titre d'exemple, si la tension d'entrée du convertisseur 10 est égale à 100V, alors la variation de tension lors de chaque phase II, IV, VI à tension sensiblement constante, c'est-à-dire sur chaque palier à tension sensiblement constante, est inférieure à 20% de cette tension, c'est-à-dire inférieure à 20V ; de préférence inférieure à 10 % de cette tension, c'est-à-dire inférieure à 10V. Chaque phase à tension sensiblement constante est également appelée palier de tension.

[0082] Le convertisseur 10 comporte alors plusieurs interrupteurs K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8 visibles sur les figures 1, 3, 6 et 9, $K_{1,1}$, $K_{2,1}$, $K_{3,1}$, $K_{4,1}$, $K_{1,2}$, $K_{2,2}$, $K_{3,2}$, $K_{4,2}$, K_5, K_6, K_7, K_8 visibles sur la [Fig.5], aptes à être commandés pour alterner des phases II, IV, VI à tension sensiblement constante et des phases I, III, V à charge sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B, à l'intérieur de périodes de durée sensiblement constante correspondant à la fréquence de fonctionnement du convertisseur 10, dépendant de la fréquence de résonance, également appelée fréquence propre, des éléments piézoélectriques 15. Les phases I, III, V à charge sensiblement constante permettent, en régime établi ou permanent, de passer d'une tension constante à une autre et de fermer les interrupteurs qui doivent l'être lorsque la tension à leurs bornes est de préférence nulle afin d'avoir une commutation dite à zéro de tension, également appelée commutation en mode ZVS (de l'anglais *Zero Voltage Switching*).

[0083] Le convertisseur 10 comprend un premier pont de commutation 30 comportant deux premières branches de commutation 32, chaque première branche de commutation 32 comportant au moins un premier interrupteur 36. Chaque ensemble piézoélectrique 12A,12B comporte une première extrémité 16 connectée au premier pont de commutation 30 ; et chaque premier interrupteur 36 est connecté entre une borne 34 d'application de la tension d'entrée V_{in} et une première extrémité 16 respectives.

[0084] Parmi les deux bornes d'application 34 de la tension d'entrée V_{in}, l'une présente un

potentiel inférieur, noté V_{inn}, et l'autre présente un potentiel supérieur, noté V_{inp}. Le premier pont de commutation 30 est de préférence constitué des deux premières branches de commutation 32.

[0085] Dans les exemples des figures 1, 3, 5, 6 et 9, chaque première branche de commutation 32 comporte deux premiers interrupteurs 36 connectés en série et reliés entre eux en un premier point milieu 38. Chaque première branche de commutation 32 est de préférence constituée des deux premiers interrupteurs 36.

[0086] Lorsque chaque première branche de commutation 32 comporte deux premiers interrupteurs 36 connectés en série et reliés entre eux en un premier point milieu 38 respectif, chaque premier point milieu 38 forme une première extrémité 16 respective.

[0087] Dans les exemples des figures 1, 3, 5, 6 et 9, chaque première branche de commutation 32 est connectée entre les deux bornes 34 d'application de la tension d'entrée V_{in}.

[0088] Dans ces exemples, les deux premiers interrupteurs 36 sont notés K_5, K_6 pour l'une des deux premières branches de commutation 32, et respectivement K_7, K_8 pour l'autre des deux premières branches de commutation 32.

[0089] Par souci de distinction entre les premiers interrupteurs 36 connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A et ceux connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B, les premiers interrupteurs 36 connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A sont également notés 36A, et les premiers interrupteurs 36 connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont également notés 36B.

[0090] Dans les exemples des figures 1, 3, 5, 6 et 9, les premiers interrupteurs 36A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A sont aussi notés K_5, K_6, et les premiers interrupteurs 36B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont aussi notés K_7, K_8.

[0091] De même, le premier point milieu 38 connecté directement au premier ensemble piézoélectrique 12A est également noté 38A, et le premier point milieu 38 connecté directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B est également noté 38B.

[0092] Le convertisseur 10 comprend un deuxième pont de commutation 40 comportant deux deuxièmes branches de commutation 42, chaque deuxième branche de commutation 42 comportant au moins un deuxième interrupteur 46. Chaque ensemble piézoélectrique 12A, 12B comporte une deuxième extrémité 18 connectée au deuxième pont de commutation 40 ; et chaque deuxième interrupteur 46 est connecté entre une borne 44 de fourniture de la tension de sortie V_{out} et une deuxième extrémité 18 respectives.

[0093] Parmi les deux bornes de fourniture 44 de la tension de sortie V_{out}, l'une présente un potentiel inférieur, noté V_{outn}, et l'autre présente un potentiel supérieur, noté V_{outp}. Le

deuxième pont de commutation 40 est de préférence constitué des deux deuxièmes branches de commutation 42.

[0094] Dans les exemples des figures 1, 5 et 6, chaque deuxième branche de commutation 42 comporte deux deuxièmes interrupteurs 46 connectés en série et reliés en le deuxième point milieu 48. Chaque deuxième branche de commutation 42 est de préférence constituée des deux deuxièmes interrupteurs 46.

[0095] Lorsque chaque deuxième branche de commutation 42 comporte deux deuxièmes interrupteurs 46 connectés en série et reliés entre eux en un deuxième point milieu 48 respectif, chaque deuxième point milieu 48 forme une deuxième extrémité 18 respective.

[0096] Dans les exemples des figures 1, 5 et 6, chaque deuxième branche de commutation 42 est connectée entre les deux bornes 44 de fourniture de la tension de sortie V_{out}.

[0097] Dans les exemples des figures 1 et 6, les deux deuxièmes interrupteurs 46 sont notés K_1, K_2 pour l'une des deux deuxièmes branches de commutation 42, et respectivement K_3, K_4 pour l'autre des deux deuxièmes branches de commutation 42.

[0098] Lorsque le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer plusieurs tensions de sortie distinctes V_{out_j}, il comprend, pour chaque tension de sortie V_{out_j} respective, un deuxième pont de commutation 40 respectif, chaque deuxième branche de commutation 42 étant connectée entre deux bornes 44 de fourniture de la tension de sortie V_{out_j} respective.

[0099] Dans l'exemple de la [Fig.5], le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer deux tensions de sortie distinctes, à savoir une première tension de sortie V_{out_1} et une deuxième tension de sortie V_{out_2}. Selon cet exemple, le convertisseur 10 comprend alors deux deuxièmes ponts de commutation 40, celui associé à la première tension de sortie V_{out_1} étant noté 40_1 et celui associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2} étant noté 40_2. Chaque deuxième branche de commutation 42 étant connectée entre deux bornes 44 de fourniture de la tension de sortie V_{out_1}, V_{out_2} respective. Dans cet exemple, les potentiels inférieurs des tensions de sortie V_{out_1}, V_{out_2} sont respectivement notés V_{outn1}, V_{outn2}, et les potentiels supérieurs des tensions de sortie V_{out_1}, V_{out_2} sont respectivement notés V_{outp1}, V_{outp2}. Dans cet exemple encore, les deuxièmes interrupteurs 46 sont notés $K_{1,1}$, $K_{2,1}$, $K_{3,1}$, $K_{4,1}$ pour le deuxième pont de commutation 40_1 associé à la première tension de sortie V_{out_1}, et les deuxièmes interrupteurs 46 sont notés $K_{1,2}$, $K_{2,2}$, $K_{3,2}$, $K_{4,2}$ pour le deuxième pont de commutation 40_2 associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2}.

[0100] Par souci de distinction entre les deuxièmes interrupteurs 46 connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A et ceux connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B, les deuxièmes interrupteurs 46 connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A sont également notés 46A, et les deuxièmes

interrupteurs 46 connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont également notés 46B.

[0101] Dans les exemples des figures 1 et 6, les deuxièmes interrupteurs 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A sont aussi notés K_1, K_2, et les deuxièmes interrupteurs 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont aussi notés K_3, K_4.

[0102] Dans l'exemple de la [Fig.5], les deuxièmes interrupteurs 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A sont aussi notés $K_{1,1}$, $K_{2,1}$, pour le deuxième pont de commutation 40_1 associé à la première tension de sortie V_{out_1}, et $K_{1,2}$, $K_{2,2}$, pour le deuxième pont de commutation 40_2 associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2}. Dans cet exemple, les deuxièmes interrupteurs 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont aussi notés $K_{3,1}$, $K_{4,1}$ pour le deuxième pont de commutation 40_1 associé à la première tension de sortie V_{out_1}, et $K_{3,2}$, $K_{4,2}$ pour le deuxième pont de commutation 40_2 associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2}.

[0103] De même, le deuxième point milieu 48 connecté directement au premier ensemble piézoélectrique 12A est également noté 48A, et le deuxième point milieu 48 connecté directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B est également noté 48B.

[0104] Dans les exemples des figures 3 et 9, chaque deuxième branche de commutation 42 comporte un seul deuxième interrupteur 46 connecté entre une borne 44 de fourniture de la tension de sortie V_{out} et une deuxième extrémité 18 respectives. Chaque deuxième branche de commutation 42 est de préférence constituée d'un unique deuxième interrupteur 46 dans ces exemples des figures 3 et 9.

[0105] Dans les exemples des figures 3 et 9, le deuxième interrupteur 46 est noté K_1 pour l'une des deux deuxièmes branches de commutation 42, et respectivement K_4 pour l'autre des deux deuxièmes branches de commutation 42.

[0106] Dans les exemples des figures 3 et 9, le deuxième interrupteur 46A connecté directement au premier ensemble piézoélectrique 12A est aussi noté K_1, et le deuxième interrupteur 46B connecté directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B est aussi noté K_4.

[0107] Le convertisseur 10 comprend un ou plusieurs couples de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, chaque ensemble piézoélectrique 12A,12B comportant au moins un élément piézoélectrique 15 et étant connecté entre des premier 38 et deuxième 48 points milieux respectifs, les points milieux 38, 48 entre lesquels sont connectés les ensembles piézoélectriques 12A,12B étant distincts d'un ensemble piézoélectrique 12A à l'autre 12B.

[0108] Dans les exemples des figures 1, 3, 6 et 9, le convertisseur 10 comprend un seul couple de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques

[0109] Lorsque le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer plusieurs tensions de sortie distinctes V_{out_j}, il comprend, pour chaque tension de sortie V_{out_j} respective, un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézo-électriques.

[0110] Dans l'exemple de la [Fig.5], le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer deux tensions de sortie distinctes, et comprend alors deux couples de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques.

[0111] Selon l'invention, le convertisseur 10 comprend en outre au moins un interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les premières extrémités 16, ou respectivement les deuxièmes extrémités 18, d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, lesdites extrémités 16, 18 reliées directement entre elles via un interrupteur complémentaire 28 respectif étant connectées à un même pont de commutation 30, 40 respectif.

[0112] Dans les exemples des figures 1, 5 et 6, le convertisseur 10 comprend un seul interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les premières extrémités 16 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques.

[0113] Dans les exemples des figures 3 et 9, le convertisseur 10 comprend un seul interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques.

[0114] En variante non représentée, le convertisseur 10 comprend deux interrupteurs complémentaires 28, à savoir un premier interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les premières extrémités 16 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques et un deuxième interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques.

[0115] Dans les exemples des figures 1, 3, 5, 6 et 9, chaque interrupteur complémentaire 28 est également noté K_9.

[0116] Chacun des premiers 36 et deuxièmes 46 interrupteurs est de préférence un interrupteur unidirectionnel en courant et unidirectionnel en tension. L'interrupteur 36, 46 comprend par exemple un transistor, ou une diode, ou encore un transistor et une diode en antiparallèle, non représentés. L'interrupteur 36, 46 est de préférence constitué du transistor, ou de la diode, ou encore du transistor et de la diode en antiparallèle. En variante, l'interrupteur 36, 46 comprend une association de plusieurs transistors, et est de préférence constitué d'une telle association de plusieurs transistors. En variante encore, l'interrupteur 36, 46 comprend un switch mécanique, tel qu'un micro-switch MEMS (de l'anglais *MicroElectroMechanical System*).

[0117] Chaque interrupteur complémentaire 28 est de préférence un interrupteur bidirectionnel en tension. Chaque interrupteur complémentaire 28 comprend par exemple

deux interrupteurs unidirectionnels, i.e. monodirectionnels, en tension placés tête-bêche en série. Chaque interrupteur unidirectionnel comporte par exemple un transistor, ou une diode, ou encore un transistor et une diode en antiparallèle, non représentés. Chaque interrupteur unidirectionnel est de préférence constitué du transistor, ou de la diode, ou encore du transistor et de la diode en antiparallèle.

[0118] L'homme du métier observera que, dans les exemples des figures 3 et 9, chaque interrupteur complémentaire 28 est en variante un interrupteur monodirectionnel en tension.

[0119] Le transistor est, par exemple, un transistor à effet de champ à grille isolée, également appelé MOSFET (de l'anglais *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)*. En variante, le transistor est un transistor bipolaire ; un transistor bipolaire à grille isolée, également appelé IGBT (de l'anglais *Insulated Gate Bipolar Transistor)* ; un transistor à base de silicium (Si), un transistor à base de GaN (de l'anglais *Gallium Nitride)* ; un transistor à base de carbure de silicium (SiC), ou un transistor à base de diamant, ou encore un thyristor.

[0120] Chaque ensemble piézoélectrique 12A, 12B est constitué selon l'une des constitutions parmi le groupe consistant en : un unique élément piézoélectrique 15 ; plusieurs éléments piézoélectriques 15 connectés en série ; plusieurs éléments piézoélectriques 15 connectés en parallèle ; un élément piézoélectrique 15 et un condensateur auxiliaire, non représenté, connectés en série ; un élément piézoélectrique 15 et un condensateur auxiliaire connectés en parallèle ; et un agencement de plusieurs branches parallèles, chaque branche comportant un ou plusieurs éléments piézoélectriques 15 connectés en série ou un condensateur auxiliaire.

[0121] Le condensateur auxiliaire est typiquement de capacité supérieure, de préférence au moins trois fois supérieure, à une capacité de référence C_0, décrite ci-après, du ou des éléments piézoélectriques 15.

[0122] En complément facultatif, les premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques partagent un même matériau piézoélectrique, tout en ayant les électrodes du premier ensemble 12A distinctes de celles du deuxième ensemble 12B. Selon ce complément facultatif, les paires d'électrodes du premier ensemble 12A, et respectivement celles du deuxième ensemble 12B, couvrent des surfaces de matériau distinctes. En outre, les électrodes du premier ensemble 12A ne peuvent dans ce cas pas directement induire un champ électrique significatif dans la partie du matériau piézoélectrique appartenant au second ensemble 12B. Selon ce complément facultatif encore, la capacité entre l'une quelconque des électrodes du premier ensemble 12A et l'une quelconque des électrodes du second ensemble 12B est négligeable (au moins 10 fois inférieure) devant une capacité de référence C_0, décrite ci-après, de chacun des ensembles 12A, 12B, par exemple en n'étant pas directement en regard de part et

d'autre du matériau. Cette mise en commun d'un même matériau permet par exemple de faciliter l'implémentation des premier 12A et deuxième 12B ensembles piézo-électriques (limitation du nombre de pièce(s), mise en commun des moyens de fixation) ; et aussi de synchroniser la vibration des deux ensembles 12A, 12B, sans toutefois qu'il y ait un transfert significatif d'énergie d'un ensemble à l'autre (<1/10ème de la puissance de sortie).

[0123] L'élément piézoélectrique 15 est connu en soi, et est typiquement modélisé, proche du mode de résonnance exploité, sous la forme d'un condensateur 52 et d'une branche résonante 54 connectée en parallèle du condensateur 52, le condensateur 52 et la branche résonante 54 étant connectés entre une première électrode 56 et une deuxième électrode 58 de l'élément piézoélectrique 15, comme illustré sur la modélisation de l'élément piézoélectrique 15 représentée dans une bulle 60 à la [Fig.1]. La branche résonante 54 est typiquement une branche RLC formée d'un condensateur 62, d'une résistance 64 et d'une inductance 66 connectés en série. La capacité du condensateur 52 connecté en parallèle de la branche résonante 54 est appelée capacité parallèle, ou capacité bloquée, ou encore capacité de référence, et notée C_0. La tension aux bornes de l'élément piézoélectrique 15 correspond alors typiquement à la tension aux bornes du condensateur 52.

[0124] Dans la présente description, une tension dite piézoélectrique totale V_p est par convention la somme de chacune des tensions aux bornes des premier 12A, et respectivement deuxième 12B, ensembles piézoélectriques. En particulier, la tension aux bornes du premier ensemble piézoélectrique 12A est notée V_{p1}, et celle aux bornes du deuxième ensemble piézoélectrique 12B est notée V_{p2}. La tension piézoélectrique totale V_p est alors égale à la somme de ces tensions V_{p1} et V_{p2}, soit $V_{p1}+V_{p2}$. Les deux ensembles piézoélectriques 12A, 12B, et les éléments piézoélectriques 15 les constituant, sont de préférence identiques, et présentent sensiblement la même tension à leurs bornes à une éventuelle tension d'offset V_{offset} près, de sorte que les tensions V_{p1} et V_{p2} sont égales à $V_p/2+/-V_{offset}$, selon les équations suivantes :

[0125] [Math.1]

$$V_p = V_{p1} + V_{p2}$$

[0126] [Math.2]

$$V_{p1} = \frac{V_p}{2} + V_{offset} \quad \text{et} \quad V_{p2} = \frac{V_p}{2} - V_{offset}$$

[0127] La tension V_{offset} est une composante sensiblement constante à l'échelle d'une période de résonance et impacte peu l'équilibre de charge ou d'énergie sur une période. Cette tension V_{offset} évolue lentement au regard de la fréquence de pilotage, son ondulation est typiquement à une fréquence au moins 10 fois inférieure à la fréquence de pilotage des ensembles piézoélectriques 12A, 12B. Par ailleurs, lorsque l'on fait la somme des

tensions $V_{p1}+V_{p2}$, cette tension d'offset V_{offset} disparait, et on obtient bien la tension piézoélectrique totale V_p, telle que décrite dans les différents cycles. En pratique, cette tension d'offset V_{offset} n'impacte pas la loi de pilotage, et autorise des potentiels V_{inn} et V_{outn} complètement indépendants en basse fréquence.

[0128] Dans l'exemple de la [Fig.5] où le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer les première V_{out_1} et deuxième V_{out_2} tensions de sortie et comprend alors deux couples de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, la tension piézoélectrique totale pour un premier couple de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques associé à la première tension de sortie V_{out_1} est notée V_{p_1}, et celle pour un deuxième couple de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2} est notée V_{p_2}. En particulier, la tension aux bornes du premier ensemble piézoélectrique 12A est notée $V_{p_1,1}$ pour le premier couple et $V_{p_2,1}$ pour le deuxième couple, et celle aux bornes du deuxième ensemble piézoélectrique 12B est notée $V_{p_1,2}$ pour le premier couple et $V_{p_2,2}$ pour le deuxième couple. Chaque tension piézoélectrique totale V_{p_1}, V_{p_2} est alors égale à la somme de ces tensions respectives $V_{p_1,1}$, $V_{p_2,1}$ et $V_{p_1,2}$, $V_{p_2,2}$, soit $V_{p_1,1} + V_{p_1,2}$, et respectivement $V_{p_2,1} + V_{p_2,2}$. Les deux ensembles piézoélectriques 12A, 12B, et les éléments piézoélectriques 15 les constituant, sont de préférence identiques, et présentent sensiblement la même tension à leurs bornes à une éventuelle tension d'offset V_{offset_1}, V_{offset_2} près, de sorte que les tensions $V_{p_1,1}$, $V_{p_2,1}$ et $V_{p_1,2}$, $V_{p_2,2}$ sont chacune égales à la moitié de la tension piézoélectrique totale V_{p_1}+/-V_{offset_1}, V_{p_2} +/-V_{offset_2} respective, selon les équations suivantes :

[0129] [Math.3]

$$V_{p_1} = V_{p_1,1} + V_{p_1,2}$$

[0130] [Math.4]

$$V_{p_{1,1}} = \frac{V_{p_1}}{2} + V_{offset_1} \quad \text{et} \quad V_{p_{1,2}} = \frac{V_{p_1}}{2} - V_{offset_1}$$

[0131] [Math.5]

$$V_{p_2} = V_{p_2,1} + V_{p_2,2}$$

[0132] [Math.6]

$$V_{p_{2,1}} = \frac{V_{p_2}}{2} + V_{offset_2} \quad \text{et} \quad V_{p_{2,2}} = \frac{V_{p_2}}{2} - V_{offset_2}$$

[0133] En outre, dans la présente description et comme représenté sur les figures 1, 3, 6 et 9, la tension entre les premières extrémités 16 est notée V_{pa}, et est par convention égale à la différence de potentiels ($V_{pa1} - V_{pa2}$), où V_{pa1} est le potentiel de la première extrémité 16 connectée au premier ensemble piézoélectrique 12A, et V_{pa2} est le potentiel de

l'autre première extrémité 16 connectée au deuxième ensemble piézoélectrique 12B. La tension entre les deuxièmes extrémités 18 est notée V_{pb}, et est par convention égale à la différence de potentiels ($V_{pb2} - V_{pb1}$), où V_{pb1} est le potentiel de la deuxième extrémité 18 connectée au premier ensemble piézoélectrique 12A, et V_{pb2} est le potentiel de l'autre deuxième extrémité 18 connectée au deuxième ensemble piézo-électrique 12B.

[0134] Par convention et comme représenté sur les figures 1, 3, 6 et 9, la tension V_{p1} aux bornes du premier ensemble piézoélectrique est égale à la différence de potentiels ($V_{pa1} - V_{pb1}$), et celle V_{p2} aux bornes du deuxième ensemble piézoélectrique est égale à la différence de potentiels ($V_{pb2} - V_{pa2}$).

[0135] La tension piézoélectrique totale V_p est alors égale à la somme des tensions V_{pa} et V_{pb} , et vérifie l'équation suivante :

[0136] [Math.7]

$$V_p = V_{pa} + V_{pb}$$

[0137] Dans l'exemple de la [Fig.5] où le convertisseur d'énergie électrique 10 comprend deux couples de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques et deux deuxièmes ponts de commutation 40_1, 40_2, la tension entre les premières extrémités 16 est aussi notée V_{pa}, et est par convention égale à la différence de potentiels ($V_{pa1} - V_{pa2}$), où V_{pa1} est le potentiel de la première extrémité 16 connectée au premier ensemble piézoélectrique 12A, et V_{pa2} est le potentiel de l'autre première extrémité 16 connectée au deuxième ensemble piézoélectrique 12B. La tension entre les deuxièmes extrémités 18 est notée V_{pb_1} pour le deuxième pont de commutation 40_1 associé à la première tension de sortie V_{out_1}, et est par convention égale à la différence de potentiels ($V_{pb2,1} - V_{pb1,1}$), où $V_{pb1,1}$ est le potentiel de la deuxième extrémité 18 connectée au premier ensemble piézoélectrique 12A, et $V_{pb2,1}$ est le potentiel de l'autre deuxième extrémité 18 connectée au deuxième ensemble piézoélectrique 12B, ceci pour le deuxième pont de commutation 40_1 associé à la première tension de sortie V_{out_1}. De manière analogue, la tension entre les deuxièmes extrémités 18 est notée V_{pb_2} pour le deuxième pont de commutation 40_2 associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2}, et est par convention égale à la différence de potentiels ($V_{pb2,2} - V_{pb1,2}$), où $V_{pb1,2}$ est le potentiel de la deuxième extrémité 18 connectée au premier ensemble piézoélectrique 12A, et $V_{pb2,2}$ est le potentiel de l'autre deuxième extrémité 18 connectée au deuxième ensemble piézoélectrique 12B, ceci pour le deuxième pont de commutation 40_2 associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2}.

[0138] Par convention et comme représenté sur la [Fig.5], la tension aux bornes du premier ensemble piézoélectrique $V_{p_1,1}$ du premier couple est égale à la différence de potentiels ($V_{pa1} - V_{pb1,1}$), et celle aux bornes du deuxième ensemble piézoélectrique $V_{p_1,2}$ du premier couple est égale à la différence de potentiels ($V_{pb2,1} - V_{pa2}$). De même, la

tension aux bornes du premier ensemble piézoélectrique $V_{p_2,1}$ du deuxième couple est égale à la différence de potentiels ($V_{pa1} - V_{pb1,2}$), et celle aux bornes du deuxième ensemble piézoélectrique $V_{p_2,2}$ du deuxième couple est égale à la différence de potentiels ($V_{pb2,2} - V_{pa2}$).

[0139] La fréquence de résonance est la fréquence à laquelle oscille l'élément piézoélectrique 15 et par conséquent son courant I_L, visible sur la [Fig.1]. Le cycle de conversion est synchronisé sur un mouvement mécanique de l'élément piézoélectrique 15, et la fréquence du pilotage est alors calée sur la fréquence d'oscillation mécanique. En pratique, cette fréquence d'oscillation dépend du point de fonctionnement du convertisseur 10 : valeurs des trois paliers de tension et du courant de sortie. En fonction du point de fonctionnement, cette fréquence d'oscillation évolue typiquement entre la fréquence de résonance dite série de l'élément piézoélectrique 15 ($\omega_s=1/\sqrt{(L_r.C_r}$) où L_r et C_r correspondent aux inductance et capacité de la branche résonante 54) et la fréquence de résonance dite parallèle de l'élément piézoélectrique 15 ($\omega_p=1/\sqrt{(L_r.C_r.C_0}$ / (C_r+C_0))), également respectivement appelés fréquence de résonance et fréquence d'antirésonance de l'élément piézoélectrique 15. La fréquence de fonctionnement du convertisseur 10 est alors comprise entre ces deux fréquences de résonance et d'antirésonance de l'élément piézoélectrique 15. Le point de fonctionnement varie lentement au regard de la fréquence d'oscillation de l'élément piézoélectrique 15. Le point de fonctionnement évolue typiquement à moins de 10kHz, alors que la fréquence d'oscillation de l'élément piézoélectrique 15 est typiquement supérieure ou égale à 100kHz. De ce fait, la fréquence de fonctionnement du convertisseur 10 évolue peu d'une période à la suivante.

[0140] D'une manière générale, pour le convertisseur d'énergie électrique 10 avec les ensembles piézoélectriques 12A, 12B et piloté par le dispositif électronique de pilotage 20, le nombre de phases II, IV, VI à tension sensiblement constante est typiquement d'au moins 2, de préférence égal à 3, tout en pouvant être supérieur ou égal à 4 avec la mise en œuvre du pilotage décrit dans la demande FR 21 07345 déposée le 7 juillet 2021.

[0141] Chaque phase II, IV, VI à tension sensiblement constante est susceptible d'être obtenue à partir d'une combinaison des tensions d'entrée et de sortie, en valeur positive ou négative. Le convertisseur d'énergie 10 permet alors d'échanger de l'énergie durant les phases II, IV, VI à tension sensiblement constante, et par voie de conséquence, avec les combinaisons de tensions utilisées pour obtenir ces phases II, IV, VI à tension sensiblement constante. Il est notamment possible de transférer de l'énergie d'une phase à tension sensiblement constante de faible tension vers une phase à tension sensiblement constante de tension plus élevée, et par le jeu des combinaisons précitées obtenir au final un convertisseur abaisseur de tension, ce qui peut paraître

contre-intuitif. Inversement, il est également possible de transférer de l'énergie d'une phase à tension sensiblement constante de tension élevée vers une phase à tension sensiblement constante de tension plus faible, et par le jeu des combinaisons précitées obtenir au final un convertisseur élévateur de tension. L'homme du métier comprendra alors qu'il est possible d'avoir un cycle élévateur vu par les ensembles piézoélectriques 12A, 12B alors que le convertisseur d'énergie électrique 10 est un convertisseur abaisseur, et inversement d'avoir un cycle abaisseur vu par les ensembles piézoélectriques 12A, 12B alors que le convertisseur d'énergie électrique 10 est un convertisseur élévateur.

[0142] Par convention, si un courant est fourni aux ensembles piézoélectriques 12A, 12B lors de la phase II, IV, VI à tension sensiblement constante correspondant à la tension la plus élevée au cours d'un cycle de résonance, alors le cycle est considéré comme un cycle abaisseur pour les ensembles piézoélectriques 12A, 12B. Inversement, si un courant est débité, ou encore tiré, depuis les ensembles piézoélectriques 12A, 12B lors de ladite phase II, IV, VI à tension sensiblement constante pour laquelle la tension est la plus élevée au cours du cycle de résonance, alors le cycle est considéré comme un cycle élévateur pour les ensembles piézoélectriques 12A, 12B. Comme indiqué précédemment, le cycle de conversion vu par les ensembles piézoélectriques 12A, 12B est susceptible d'être un cycle élévateur alors que le convertisseur d'énergie électrique 10 fonctionne en convertisseur abaisseur, et inversement le cycle de conversion vu par les ensembles piézoélectriques 12A, 12B est susceptible d'être un cycle abaisseur alors que le convertisseur d'énergie électrique 10 fonctionne en convertisseur élévateur.

[0143] Le dispositif électronique de pilotage 20 est configuré pour piloter le convertisseur d'énergie électrique 10, en particulier pour piloter la commande des interrupteurs 36, 46 du convertisseur, afin d'alterner, lors d'un cycle respectif de résonance des ensembles piézoélectriques 12A,12B, des phases II, IV, VI à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B et des phases I, III, V à charge sensiblement constante, c'est-à-dire en circuit sensiblement ouvert, aux bornes desdits ensembles piézoélectriques 12A, 12B.

[0144] Le dispositif électronique de pilotage 20 est par exemple réalisé sous forme d'un circuit électronique comportant un ou plusieurs composants électroniques.

[0145] En variante, le dispositif électronique de pilotage 20 est réalisé sous forme d'un composant logique programmable, tel qu'un FPGA (de l'anglais *Field Programmable Gate Array*), ou sous forme d'un circuit intégré, tel qu'un ASIC (de l'anglais *Application Specific Integrated Circuit*) ou encore sous forme d'un calculateur, tel qu'un microcontrôleur, un processeur.

[0146] Le dispositif électronique de pilotage 20 est configuré en outre pour, lors d'au moins une phase II, IV, VI à tension sensiblement constante, commander au moins un in-

terrupteur complémentaire 28 respectif en position fermée.

[0147] L'homme du métier comprendra alors que lorsque le convertisseur 10 comprend un interrupteur complémentaire 28 respectif connecté directement entre les premières extrémités 16 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, alors la commande en position fermée dudit interrupteur complémentaire 28 permet de forcer à la valeur nulle la tension V_{pa} entre les premières extrémités 16.

[0148] De manière analogue, lorsque le convertisseur 10 comprend un interrupteur complémentaire 28 respectif connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, alors la commande en position fermée dudit interrupteur complémentaire 28 permet de forcer à la valeur nulle la tension V_{pb} entre les deuxièmes extrémités 18.

[0149] De manière analogue encore, lorsque le convertisseur 10 comprend deux interrupteurs complémentaires 28 connectés à un même couple de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, c'est-à-dire à la fois le premier interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les premières extrémités 16 dudit couple et un deuxième interrupteur complémentaire 28 connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 dudit couple, alors la commande en position fermée de ces premier et deuxième interrupteurs complémentaires 28 permet de forcer à la fois la tension V_{pa} entre les premières extrémités 16 à la valeur nulle et la tension V_{pb} entre les deuxièmes extrémités 18 à la valeur nulle, et donc de forcer la tension piézoélectrique totale V_p dudit couple d'ensembles piézoélectriques à la valeur nulle.

[0150] En complément, le dispositif électronique de pilotage 20 est configuré pour, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, commander en position fermée en même temps au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36A, 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36B, 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B, et en position ouverte tous les autres interrupteurs 36, 46 des premières et deuxièmes branches de commutation 32, 42.

[0151] Selon ce complément, autrement dit, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36A, 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36B, 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont en position fermée en même temps, tous les autres interrupteurs 36, 46 des premières et deuxièmes branches de commutation 32, 42 étant en position ouverte.

[0152] Selon ce complément, en d'autres termes, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, à chaque instant au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36A, 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A est

en position fermée, et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36B, 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B est en position fermée, et tous les autres interrupteurs 36, 46 des premières et deuxièmes branches de commutation 32, 42 sont en position ouverte.

[0153] Selon ce complément, dans les exemples des figures 1 et 6, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs K_1, K_2, K_5, K_6 est en position fermée, et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs K_3, K_4, K_7, K_8 est en position fermée, tous les autres interrupteurs des premières et deuxièmes branches de commutation 32, 42 étant en position ouverte.

[0154] Selon ce complément, dans l'exemple de la [Fig.5] où le convertisseur d'énergie électrique 10 est configuré pour délivrer les première V_{out_1} et deuxième V_{out_2} tensions de sortie distinctes respectives, et comprend alors deux couples de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques et deux deuxièmes ponts de commutation 40_1, 40_2, d'une part pour la conversion de la tension d'entrée V_{in} en la première tension de sortie V_{out_1} via le premier pont de commutation 30 et le deuxième pont de commutation 40_1 associé à la première tension de sortie V_{out_1}, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs $K_{1,1}$, $K_{2,1}$, K_5, K_6 est en position fermée, et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs $K_{3,1}$, $K_{4,1}$, K_7, K_8 est en position fermée, tous les autres interrupteurs des ponts de commutation 30, 40_1 étant en position ouverte. D'autre part pour la conversion de la tension d'entrée V_{in} en la deuxième tension de sortie V_{out_2} via le premier pont de commutation 30 et le deuxième pont de commutation 40_2 associé à la deuxième tension de sortie V_{out_2}, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs $K_{1,2}$, $K_{2,2}$, K_5, K_6 est en position fermée, et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs $K_{3,2}$, $K_{4,2}$, K_7, K_8 est en position fermée, tous les autres interrupteurs des ponts de commutation 30, 40_2 étant en position ouverte.

[0155] Selon ce complément, le dispositif électronique de pilotage 20 est de préférence configuré pour, lors des phases II, IV, VI à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A, 12B et en l'absence de commande d'un interrupteur complémentaire 28 respectif en position fermée lors de ces phases, piloter la commande des interrupteurs 36, 46 du convertisseur 10, afin d'avoir la valeur V_a, V_b, V_c de la tension de chacune des phases II, IV, VI à tension sensiblement constante choisie parmi le groupe de valeurs consistant en : différence $V_{in} - V_{out}$ entre la valeur de la tension d'entrée V_{in} et celle de la tension de sortie V_{out} ; différence $V_{out} - V_{in}$ entre la valeur de la tension de sortie V_{out} et celle de la tension d'entrée V_{in} ; somme $V_{in} + V_{out}$ des valeurs des tensions d'entrée V_{in} et de sortie V_{out} ; et opposé de la somme $-V_{in} - V_{out}$ des valeurs des tensions d'entrée V_{in} et de sortie V_{out}.

[0156] Avec la commande d'au moins un interrupteur complémentaire 28 respectif en position fermée lors d'une phase II, IV, VI respective à tension sensiblement constante, ledit groupe de valeurs comporte en outre les valeurs additionnelles possibles suivantes : valeur de la tension d'entrée V_{in} ; opposé $-V_{in}$ de la valeur de la tension d'entrée V_{in} ; valeur de la tension de sortie V_{out} ; opposé $-V_{out}$ de la valeur de la tension de sortie V_{out} ; et valeur nulle.

[0157] Ledit groupe de valeurs comporte la valeur de la tension d'entrée V_{in} et l'opposé $-V_{in}$ de la valeur de la tension d'entrée, si le convertisseur 10 comprend un interrupteur complémentaire 28 respectif connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités 18 étant connectées au deuxième pont de commutation 40. Dans ce cas, la commande en position fermée dudit interrupteur complémentaire 28 permet de forcer à la valeur nulle la tension V_{pb} entre les deuxièmes extrémités 18, et la tension V_{pa} entre les premières extrémités 16 est égale à la tension d'entrée V_{in} ou bien à l'opposé $-V_{in}$ de la tension d'entrée V_{in}, de sorte que ledit groupe de valeurs pour la tension piézoélectrique totale V_p comporte alors en outre la valeur de la tension d'entrée V_{in} et l'opposé $-V_{in}$ de la valeur de la tension d'entrée.

[0158] Ledit groupe de valeurs comporte la valeur de la tension de sortie V_{out} et l'opposé $-V_{out}$ de la valeur de la tension de sortie, si le convertisseur 10 comprend un interrupteur complémentaire 28 respectif connecté directement entre les premières extrémités 16 d'un couple respectif de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités 16 étant connectées au premier pont de commutation 30. En effet, dans ce cas, la commande en position fermée dudit interrupteur complémentaire 28 permet de forcer à la valeur nulle la tension V_{pa} entre les premières extrémités 16, et la tension V_{pb} entre les deuxièmes extrémités 18 est égale à la tension de sortie V_{out} ou à l'opposé $-V_{out}$ de la tension de sortie, de sorte que ledit groupe de valeurs pour la tension piézoélectrique totale V_p comporte alors en outre la valeur de la tension de sortie V_{out} et l'opposé $-V_{out}$ de la valeur de la tension de sortie.

[0159] Ledit groupe de valeurs comporte la valeur nulle, si le convertisseur 10 comprend deux interrupteurs complémentaires 28 connectés à un même couple de premier 12A et deuxième 12B ensembles piézoélectriques, comme décrit précédemment. Dans ce cas, la commande en position fermée de ces premier et deuxième interrupteurs complémentaires 28 permet de forcer à la valeur nulle à la fois la tension V_{pa} entre les premières extrémités 16 et la tension V_{pb} entre les deuxièmes extrémités 18, et donc de forcer la tension piézoélectrique totale V_p dudit couple d'ensembles piézoélectriques à la valeur nulle.

[0160] Le fonctionnement du convertisseur 10 va désormais être expliqué, à titre d'exemple, selon une configuration abaisseur de tension A en regard de la [Fig.2] pour le

convertisseur 10 de la [Fig.1] ; puis selon une configuration très élévateur de tension TE en regard de la [Fig.4] pour le convertisseur 10 de la [Fig.3].

[0161] Le procédé de pilotage du convertisseur d'énergie électrique 10 est alors mis en œuvre par le dispositif électronique de pilotage 20 et comprend la commande, lors d'un cycle respectif de résonance des ensembles piézoélectriques 12A,12B, d'une commutation de chacun des interrupteurs 36, 46 pour alterner des phases II, IV, VI à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques 12A,12B et des phases I, III, V à charge sensiblement constante aux bornes desdits ensembles piézoélectriques 12A,12B.

[0162] Selon l'invention, lors d'au moins une phase II, IV, VI à tension sensiblement constante, au moins un interrupteur complémentaire 28 respectif est commandé en position fermée.

[0163] En complément, pour chacune des configurations abaisseur ou très abaisseur, respectivement élévateur ou très élévateur, lors de chaque phase I, III, V à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36A, 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36B, 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B sont commandés en position fermée en même temps, et tous les autres interrupteurs 36, 46 des premières et deuxièmes branches de commutation 32, 42 sont commandés en position ouverte.

[0164] L'homme du métier notera que par configuration très élévateur, on entend typiquement une configuration où le gain, c'est-à-dire le ratio de la tension de sortie V_{out} divisée par la tension d'entrée V_{in}, est supérieur à 2, i.e. $V_{out}/V_{in} > 2$. Corollairement, par configuration très abaisseur, on entend typiquement une configuration où le gain, c'est-à-dire le ratio de la tension de sortie V_{out} par la tension d'entrée V_{in}, est inférieur à 1/2, i.e. $V_{out}/V_{in} < 1/2$.

[0165] De même, par configuration élévateur, on entend typiquement une configuration où ledit gain est compris entre 1 et 2, i.e. $V_{in} < V_{out} < 2V_{in}$. Corollairement, par configuration abaisseur, on entend typiquement une configuration où ledit gain est compris entre 1/2 et 1, i.e. $V_{in}/2 < V_{out} < V_{in}$.

[0166] Les principaux exemples de configurations abaisseur, à savoir première configuration abaisseur A1 et deuxième configuration abaisseur A2 ; configurations très abaisseur, à savoir première configuration très abaisseur TA1 et deuxième configuration très abaisseur TA2 ; configurations élévateur, à savoir première configuration élévateur E1 et deuxième configuration élévateur E2 ; et configurations très élévateur, à savoir première configuration très élévateur TE1 et deuxième configuration très élévateur TE2 ; sont alors listés dans le tableau 1 ci-après, avec indications respectives de la valeur V_b de la tension piézoélectrique totale V_p lors de la phase II à tension sen-

siblement constante, de la valeur V_a, de la tension piézoélectrique totale V_p lors de la phase IV à tension sensiblement constante et de la valeur V_c de la tension piézo-électrique totale V_p lors de la phase VI à tension sensiblement constante.

[0167] L'homme du métier observera que pour chaque mode de conversion, à savoir abaisseur, très abaisseur, élévateur et très élévateur, les première et deuxième configurations respectives sont à chaque fois similaires dans cet exemple, avec simplement une inversion des polarités entre les première et deuxième configurations respectives.

[0168] [Tableaux1]

Mode	**Configuration**	**Phase II**	**Phase IV**	**Phase VI**
Abaisseur $V_{in}/2 < V_{out} < V_{in}$ **(i.e.** $V_{out} > V_{in}-V_{out}$**)**	**A1**	$V_b = V_{in} - V_{out}$	$V_a=V_{out} - V_{in}$	$V_c = V_{out}$
	A2 A (Fig. 2), A_C (Fig. 8)	$V_b = V_{out} - V_{in}$	$V_a = V_{in} - V_{out}$	$V_c = -V_{out}$
Très abaisseur $V_{out} < V_{in}/2$ **(i.e.** $V_{out} < V_{in}-V_{out}$**)**	**TA1**	$V_b = V_{out}$	$V_a = V_{in} - V_{out}$	$V_c = -V_{out}$
	TA2	$V_b = -V_{out}$	$V_a = V_{out} - V_{in}$	$V_c = V_{out}$
Elévateur $V_{out}/2 < V_{in} < V_{out}$ **(i.e.** $V_{in} > V_{out}-V_{in}$**)**	**E1**	$V_b = V_{out} - V_{in}$	$V_a = V_{in}$	$V_c = V_{in} - V_{out}$
	E2	$V_b = V_{in} - V_{out}$	$V_a = -V_{in}$	$V_c = V_{out} - V_{in}$
Très élévateur $V_{in} < V_{out}/2$ **(i.e.** $V_{in} < V_{out}-V_{in}$**)**	**TE1** TE (Fig. 4), TE_C (Fig. 10)	$V_b = V_{in}$	$V_a = -V_{in}$	$V_c = V_{out} - V_{in}$
	TE2	$V_b = -V_{in}$	$V_a = V_{in}$	$V_c = V_{in} - V_{out}$

[0169] **Configuration abaisseur A (avec $V_{in}/2 < V_{out} < V_{in}$) (exemple A2)**

[0170] Sur la [Fig.2], de l'instant temporel t_{5b} précédent à l'instant temporel t_1, correspondant à une première phase I, la tension piézoélectrique totale V_p passe de $-V_{out}$ à $-V_{in}+V_{out}$, avec une excursion à la tension V_{ZVS2} égale à $-V_{in}-V_{out}$ en l'instant temporel t_0 (ou l'instant temporel t_6) compris entre les instants temporels t_{5b} et t_1. Cette excursion de tension permet de passer du palier de tension piézoélectrique totale V_p égal à $-V_{out}$ au palier de tension piézoélectrique totale V_p égal à $V_{out}-V_{in}$ en commutation ZVS au niveau des interrupteurs.

[0171] Ce passage se fait en deux étapes, une première étape de l'instant temporel t_{5b}

précédent à l'instant temporel t_0 (ou l'instant temporel t_6) pour passer de la tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{out}$ à la tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{in}-V_{out}$, puis une seconde étape de l'instant temporel t_0 à l'instant temporel t_1 pour passer de la tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{in}-V_{out}$ à la tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{in}+V_{out}$.

[0172] Lors de cette première phase I, le signe du courant I_L circulant dans les éléments piézoélectriques 15 conduit à une diminution de de la tension piézoélectrique totale V_p durant la première étape jusqu'à l'instant temporel t_0, puis à une augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p durant la deuxième étape de l'instant temporel t_0 à l'instant temporel t_1.

[0173] Durant la première étape, seule la tension V_{pa} a besoin d'être modifiée, et doit passer de 0 à $-V_{in}$, la tension piézoélectrique totale V_p passant de $-V_{out}$ à $-V_{in}-V_{out}$, ce qu'elle fait naturellement avec la diminution de la tension piézoélectrique totale V_p, l'interrupteur complémentaire K_9 ayant été ouvert en l'instant temporel t_{5b}, comme expliqué ci-après, tandis que la tension V_{pb} reste constante et fixée à $-V_{out}$ via le maintien des interrupteurs K_2 et K_3 passants (soit en maintenant une commande de fermeture, soit naturellement via leur diode inverse intrinsèque, soit encore via une diode parallèle additionnelle).

[0174] Durant la première étape de la première phase I, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_2 et K_3 sont alors passants ou commandés en position fermée.

[0175] En l'instant temporel t_0, la tension V_{pa} et la tension V_{pb} sont donc pré-positionnées sur respectivement $-V_{in}$ et $-V_{out}$, et la fermeture des interrupteurs K_5, K_8 s'effectue en mode ZVS. Les interrupteurs K_5 et K_8 se ferment, tandis que les interrupteurs K_2 et K_3 s'ouvrent.

[0176] De l'instant temporel t_0 à l'instant temporel t_1, le signe du courant I_L conduit à une augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de $-V_{in}-V_{out}$ à $-V_{in}+V_{out}$. Seule la tension V_{pb} a besoin d'être modifiée, et doit passer de $-V_{out}$ à $+V_{out}$, ce qu'elle fait naturellement avec l'augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pa} reste constante et fixée à $-V_{in}$ via le maintien des interrupteurs K_5 et K_8 fermés.

[0177] Durant la deuxième étape de la première phase I, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_5 et K_8 sont alors commandés en position fermée.

[0178] En l'instant temporel t_1, les tensions V_{pa} et V_{pb} sont donc déjà repositionnées sur les valeurs du palier de tension suivant, et la fermeture des interrupteurs K_1, K_4 s'effectue en mode ZVS, c'est-à-dire avec une tension sensiblement nulle à leurs bornes avant leur fermeture. Si les interrupteurs K_1 et K_4 disposent d'une diode inverse intrinsèque ou d'une diode additionnelle placée en parallèle, leur mise en conduction peut se faire naturellement au regard du signe du courant. Les interrupteurs K_5, K_8 étaient déjà

fermés.

[0179] De l'instant temporel t_1 à l'instant temporel t_2, correspondant à une deuxième phase II, les interrupteurs K_1, K_4, K_5 et K_8 sont passants ou commandés en position fermée. La tension piézoélectrique totale V_p est égale à $-V_{in}+V_{out}$. Une puissance positive est tirée sur la tension d'entrée V_{in} en même temps qu'une puissance positive est fournie à la tension de sortie V_{out}.

[0180] De l'instant temporel t_2 à l'instant temporel t_{3b}, correspondant à une troisième phase III, le signe du courant I_L conduit à une augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p de l'instant temporel t_2 à l'instant temporel t_3, puis à une diminution de la tension piézoélectrique totale V_p de l'instant temporel t_3 à l'instant temporel t_{3b}. La tension piézoélectrique totale V_p passe de $-V_{in}+V_{out}$ à $+V_{in}-V_{out}$, avec une excursion à la tension V_{ZVS} égale à $+V_{in}+V_{out}$ en l'instant temporel t_3 compris entre les instants temporels t_2 et t_{3b}. Cette excursion de tension permet de passer du palier de tension piézoélectrique totale V_p égal à $-V_{in}+V_{out}$ au palier de tension piézoélectrique totale V_p égal à $V_{in}-V_{out}$ en commutation ZVS au niveau des interrupteurs.

[0181] Ce passage se fait en deux étapes, une première étape de l'instant temporel t_2 à l'instant temporel t_3 pour passer de la tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{in}+V_{out}$ à la tension piézoélectrique totale V_p égale à $V_{in}+V_{out}$, puis une seconde étape de l'instant temporel t_3 à l'instant temporel t_{3b} pour passer de la tension piézoélectrique totale V_p égale à $V_{in}+V_{out}$ à la tension piézoélectrique totale V_p égale à $V_{in}-V_{out}$.

[0182] De l'instant temporel t_2 à l'instant temporel t_3, correspondant à la première étape de la troisième phase III, le signe du courant I_L conduit à une augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de $-V_{in}+V_{out}$ à $V_{in}+V_{out}$. Seule la tension V_{pa} a besoin d'être modifiée, et doit passer de $-V_{in}$ à $+V_{in}$, ce qu'elle fait naturellement avec l'augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pb} reste constante et fixée à $+V_{out}$ via le maintien des interrupteurs K_1 et K_4 passants (soit en maintenant une commande de fermeture, soit naturellement via leur diode inverse intrinsèque, soit encore via une diode parallèle additionnelle).

[0183] Durant la première étape de la troisième phase III, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_1 et K_4 sont alors commandés en position fermée.

[0184] En l'instant temporel t_3, la tension V_{pa} et la tension V_{pb} sont donc pré-positionnées sur respectivement $+V_{in}$ et $+V_{out}$, et la fermeture des interrupteurs K_6, K_7 s'effectue en mode ZVS. Les interrupteurs K_6 et K_7 se ferment, tandis que les interrupteurs K_1 et K_4 s'ouvrent.

[0185] De l'instant temporel t_3 à l'instant temporel t_{3b}, le signe du courant I_L conduit à une diminution de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de $V_{in}+V_{out}$ à $V_{in}-V_{out}$. Seule la tension V_{pb} a besoin d'être modifiée, et doit

passer de $+V_{out}$ à $-V_{out}$, ce qu'elle fait naturellement avec la diminution de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pa} reste constante et fixée à $+V_{in}$ via le maintien des interrupteurs K_6 et K_7 fermés.

[0186] Durant la deuxième étape de la troisième phase III, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_6 et K_7 sont alors commandés en position fermée.

[0187] En l'instant temporel t_{3b}, la tension V_{pa} et la tension V_{pb} sont donc déjà repositionnées sur les valeurs du palier de tension suivant, et la fermeture des interrupteurs K_2, K_3 s'effectue en mode ZVS. Si les interrupteurs K_2 et K_3 disposent d'une diode inverse intrinsèque ou d'une diode additionnelle placée en parallèle, leur mise en conduction peut se faire naturellement au regard du signe du courant. Les interrupteurs K_6, K_7 étaient déjà fermés. A l'instant temporel t_{3b}, les interrupteurs K_2 et K_3 se ferment ou deviennent passants.

[0188] De l'instant temporel t_{3b} à l'instant temporel t_4, correspondant à une quatrième phase IV, les interrupteurs K_2, K_3, K_6 et K_7 sont passants ou fermés. La tension piézoélectrique totale V_p est égale à V_{in}-V_{out}. Une puissance positive est tirée sur la tension d'entrée V_{in} en même temps qu'une puissance positive est fournie à la tension de sortie V_{out}.

[0189] De l'instant temporel t_4 à l'instant temporel t_5, correspondant à une cinquième phase V, le signe du courant I_L conduit à une diminution de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de $+V_{in}$-V_{out} à $-V_{out}$. Seule la tension V_{pa} a besoin d'être modifiée, et passe de $+V_{in}$ à 0, ce qu'elle fait naturellement avec la diminution de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pb} reste constante et fixée à

$-V_{out}$ via le maintien des interrupteurs K_2 et K_3 passants (soit en maintenant une commande de fermeture, soit naturellement via leur diode inverse intrinsèque, soit encore via une diode parallèle additionnelle).

[0190] Durant cette cinquième phase V, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_2 et K_3 sont alors en position fermée.

[0191] En l'instant temporel t_5, l'interrupteur complémentaire K_9 connecté directement entre les premières extrémités 16 est fermé, et la tension V_{pa} est alors positionnée à 0, tandis que la tension V_{pb} reste constante et fixée à $-V_{out}$ via le maintien des interrupteurs K_2 et K_3 passants (soit en maintenant une commande de fermeture, soit naturellement via leur diode inverse intrinsèque, soit encore via une diode parallèle additionnelle).

[0192] De l'instant temporel t_5 à l'instant temporel t_{5b}, correspondant à une sixième phase VI, les interrupteurs K_2 et K_3 ainsi que l'interrupteur complémentaire K_9, sont passants ou fermés. La tension piézoélectrique totale V_p est égale à $-V_{out}$. Une puissance positive est fournie à la tension de sortie V_{out}.

[0193] A la fin de la sixième phase VI, en l'instant temporel t_{5b}, l'interrupteur complé-

mentaire K_9 connecté directement entre les premières extrémités 16 est ouvert, afin de laisser la tension V_{pa} passer naturellement de 0 à $-V_{in}$, lors de la phase suivante à charge sensiblement constante, à savoir la première phase I du cycle suivant.

[0194] **Configuration très élévateur TE ($V_{out} > 2.V_{in}$) (exemple TE1)**

[0195] Sur la [Fig.4], de l'instant temporel t_{5b} précédent à l'instant temporel t_1, correspondant à la première phase I, la tension piézoélectrique totale V_p passe de $-V_{in}+V_{out}$ à V_{in}, avec une excursion à la tension V_{ZVS} égale à $V_{in}+V_{out}$ en l'instant temporel t_0 (ou l'instant temporel t_6) compris entre les instants temporels t_{5b} et t_1. Cette excursion de tension permet de passer du palier de tension piézoélectrique totale V_p égal à $-V_{in}+V_{out}$ au palier de tension piézoélectrique totale V_p égal à V_{in} en commutation ZVS au niveau des interrupteurs.

[0196] Ce passage se fait en deux étapes, une première étape de l'instant temporel t_{5b} précédent à l'instant temporel t_0 (ou l'instant temporel t_6) pour passer de la tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{in}+V_{out}$ à la tension piézoélectrique totale V_p égale à $+V_{in}+V_{out}$, puis une seconde étape de l'instant temporel t_0 à l'instant temporel t_1 pour passer de la tension piézoélectrique totale V_p égale à $+V_{in}+V_{out}$ à la tension piézoélectrique totale V_p égale à $+V_{in}$.

[0197] Lors de cette première phase I, le signe du courant I_L circulant dans les éléments piézoélectriques 15 conduit à une augmentation de de la tension piézoélectrique totale V_p durant la première étape jusqu'à l'instant temporel t_0, puis à une diminution de la tension piézoélectrique totale V_p durant la deuxième étape de l'instant temporel t_0 à l'instant temporel t_1.

[0198] Durant la première étape, seule la tension V_{pa} a besoin d'être modifiée, et doit passer de $-V_{in}$ à $+V_{in}$, la tension piézoélectrique totale V_p passant de $-V_{in}+V_{out}$ à $+V_{in}+V_{out}$, ce qu'elle fait naturellement avec l'augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pb} reste constante et fixée à $+V_{out}$ via le maintien des interrupteurs K_1 et K_4 passants (soit en maintenant une commande de fermeture, soit naturellement via leur diode inverse intrinsèque, soit encore via une diode parallèle additionnelle).

[0199] Durant la première étape de la première phase I, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_1 et K_4 sont alors passants ou commandés en position fermée.

[0200] En l'instant temporel t_0, la tension V_{pa} et la tension V_{pb} sont donc pré-positionnées sur respectivement $+V_{in}$ et $+V_{out}$, et la fermeture des interrupteurs K_6, K_7 s'effectue en mode ZVS. Les interrupteurs K_6 et K_7 se ferment, tandis que les interrupteurs K_1 et K_4 s'ouvrent.

[0201] De l'instant temporel t_0 à l'instant temporel t_1, le signe du courant I_L conduit à une diminution de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de $+V_{in}+V_{out}$ à $+V_{in}$. Seule la tension V_{pb} a besoin d'être modifiée, et doit

passer de $+V_{out}$ à 0, ce qu'elle fait naturellement avec la diminution de la tension piézo-électrique totale V_p, tandis que la tension V_{pa} reste constante et fixée à $+V_{in}$ via le maintien des interrupteurs K_6 et K_7 fermés.

[0202] Durant la deuxième étape de la première phase I, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_6 et K_7 sont alors commandés en position fermée.

[0203] En l'instant temporel t_1, l'interrupteur complémentaire K_9 connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 est passants ou commandés en position fermée, et la tension V_{pb} est alors positionnée à 0, tandis que la tension V_{pa} reste constante et fixée à $+V_{in}$ via le maintien des interrupteurs K_6 et K_7 fermés.

[0204] De l'instant temporel t_1 à l'instant temporel t_2, correspondant à la deuxième phase II, les interrupteurs K_6 et K_7, ainsi que l'interrupteur complémentaire K_9, sont passants ou fermés. La tension piézoélectrique totale V_p est égale à $+V_{in}$.

[0205] De l'instant temporel t_2 à l'instant temporel t_3, correspondant à la troisième phase III, le signe du courant I_L conduit à une diminution de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de V_{in} à $-V_{in}$. Seule la tension V_{pa} a besoin d'être modifiée, et doit passer de $+V_{in}$ à $-V_{in}$, ce qu'elle fait naturellement avec la diminution de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pb} reste constante et fixée à 0 via le maintien de l'interrupteur complémentaire K_9 fermé ou passant.

[0206] Durant cette troisième phase III, à charge sensiblement constante, seul l'interrupteur complémentaire K_9 est alors passant ou commandé en position fermée.

[0207] En l'instant temporel t_3, la tension V_{pa} est donc déjà repositionnée sur la valeur du palier de tension suivant, et la fermeture des interrupteurs K_5, K_8 s'effectue en mode ZVS.

[0208] De l'instant temporel t_3 à l'instant temporel t_4, correspondant à la quatrième phase IV, les interrupteurs K_5 et K_8, ainsi que l'interrupteur complémentaire K_9, sont passants ou fermés. La tension piézoélectrique totale V_p est égale à $-V_{in}$. Une puissance positive est tirée sur la tension d'entrée V_{in}.

[0209] A la fin de la quatrième phase IV, en l'instant temporel t_4, l'interrupteur complémentaire K_9 connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18 est ouvert, afin de laisser la tension V_{pb} passer naturellement de 0 à $+V_{out}$, lors de la phase suivante à charge sensiblement constante.

[0210] De l'instant temporel t_4 à l'instant temporel t_5, correspondant à la cinquième phase V, le signe du courant I_L conduit à une augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p. La tension piézoélectrique totale V_p passe donc de $-V_{in}$ à $-V_{in}+V_{out}$. Seule la tension V_{pb} a besoin d'être modifiée, et doit passer de 0 à $+V_{out}$, ce qu'elle fait naturellement avec l'augmentation de la tension piézoélectrique totale V_p, tandis que la tension V_{pa} reste constante et fixée à $-V_{in}$ via le maintien des interrupteurs K_5 et K_8 fermés.

[0211] Durant cette cinquième phase V, à charge sensiblement constante, seuls les interrupteurs K_5 et K_8 sont alors commandés en position fermée.

[0212] En l'instant temporel t_5, la tension V_{pa} et la tension V_{pb} sont donc déjà repositionnées sur les valeurs du palier de tension suivant, et la fermeture des interrupteurs K_1, K_4 s'effectue en mode ZVS. Si les interrupteurs K_1 et K_4 disposent d'une diode inverse intrinsèque ou d'une diode additionnelle placée en parallèle, leur mise en conduction peut se faire naturellement au regard du signe du courant. Les interrupteurs K_5, K_8 étaient déjà fermés.

[0213] De l'instant temporel t_5 à l'instant temporel t_{5b}, correspondant à la sixième phase VI, les interrupteurs K_1, K_4, K_5 et K_8 sont passants ou fermés. La tension piézoélectrique totale V_p égale à $-V_{in}+V_{out}$. Une puissance positive est tirée sur la tension d'entrée V_{in} en même temps qu'une puissance positive est fournie à la tension de sortie V_{out}.

[0214] L'homme du métier observera que dans cet exemple le pilotage mis en œuvre évite de reprendre inutilement de l'énergie sur la tension de sortie V_{out} durant la quatrième phase IV à tension sensiblement constante où la tension piézoélectrique totale V_p est égale à $-V_{in}$.

[0215] Enfin, l'homme du métier notera que la tension V_{pb} ne passe plus par la valeur $-V_{out}$, ce qui permet de supprimer les interrupteurs K_2 et K_3 dans l'exemple du convertisseur 10 de la [Fig.3] par rapport à celui de la [Fig.1], et donc de faire l'économie de deux interrupteurs.

Autres configurations

[0216] Selon une autre configuration très élévateur, non représentée, la tension V_{pb} ne passe plus par la valeur $+V_{out}$, ce qui permet de supprimer les interrupteurs K_1 et K_4 par rapport au convertisseur 10 de la [Fig.1], et donc de faire l'économie de deux interrupteurs. Autrement dit, selon cette autre configuration très élévateur, en partant du convertisseur 10 de la [Fig.1], les interrupteurs K_1 et K_4 sont supprimés, au lieu des interrupteurs K_2 et K_3 dans l'exemple du convertisseur 10 de la [Fig.3].

[0217] Selon une première configuration très abaisseur TA1, non représentée, l'interrupteur complémentaire K_9 est connecté directement entre les premières extrémités 16, et la tension V_{pa} ne passe plus par la valeur $-V_{in}$, ce qui permet de supprimer les interrupteurs K_5 et K_8 par rapport au convertisseur 10 de la [Fig.1], et donc de faire l'économie de deux interrupteurs.

[0218] Selon une deuxième configuration très abaisseur TA2, non représentée, l'interrupteur complémentaire K_9 est connecté directement entre les premières extrémités 16, et la tension V_{pa} ne passe plus par la valeur $+V_{in}$, ce qui permet de supprimer les interrupteurs K_6 et K_7 par rapport au convertisseur 10 de la [Fig.1], et donc de faire l'économie de deux interrupteurs. Autrement dit, selon cette deuxième configuration très abaisseur TA2, en partant du convertisseur 10 de la [Fig.1], les interrupteurs K_6 et

K_7 sont supprimés, au lieu des interrupteurs K_5 et K_8 dans l'exemple du convertisseur 10 de la première configuration très abaisseur TA1.

[0219] L'homme du métier comprendra alors que cette économie de deux interrupteurs est valable pour toutes les configurations très élévateur et très abaisseur. Autrement dit, dans chacune des configurations très élévateur et très abaisseur, les premières branches de commutation 32 comportent de préférence un seul premier interrupteur 36 ou bien les deuxièmes branches de commutation 42 comportent de préférence un seul deuxième interrupteur 46.

[0220] Typiquement, dans chaque configuration très élévateur, les deuxièmes branches de commutation 42 comportent de préférence un seul deuxième interrupteur 46, et l'interrupteur complémentaire 28 est connecté directement entre les deuxièmes extrémités 18.

[0221] De manière analogue, dans chaque configuration très abaisseur, les premières branches de commutation 32 comportent de préférence un seul premier interrupteur 36, et l'interrupteur complémentaire 28 est connecté directement entre les premières extrémités 16.

[0222] L'homme du métier comprendra aussi que dans une configuration abaisseur (V_{in} / $2 < V_{out} < V_{in}$) ou élévateur ($V_{in} < V_{out} < 2V_{in}$) respective, l'interrupteur complémentaire 28 est bidirectionnel en tension. Cet interrupteur complémentaire 28 est, par exemple, naturellement bidirectionnel en tension (micro-switch, thyristor) ou encore un assemblage quelconque de transistors et/ou de diodes. L'interrupteur complémentaire 28 est, par exemple, réalisé sous forme de la mise en position tête bêche de deux sous-interrupteurs monodirectionnels en tension et placés en série, chaque sous-interrupteur ayant en outre optionnellement une diode inverse, soit intrinsèque à un transistor respectif, soit additionnelle et placée en parallèle dudit transistor. Le cas échéant, un des deux sous-interrupteurs est commandable à l'état fermé en anticipation, alors que l'autre devient passant à l'instant temporel souhaité (soit en appliquant une commande de fermeture ; soit naturellement via sa diode inverse intrinsèque, soit encore via une diode parallèle additionnelle).

[0223] Dans une configuration très abaisseur ($V_{out} < V_{in}/2$) ou très élévateur ($V_{in} < V_{out}/2$) respective, l'interrupteur complémentaire 28 est bidirectionnel en tension ; ou encore monodirectionnel en tension, tel que de même nature que les interrupteurs 36, 46.

[0224] Ainsi, le convertisseur d'énergie électrique 10 selon l'invention permet d'éviter que la tension piézoélectrique totale V_p passe par un palier de tension $V_{in}+V_{out}$ ou $-V_{in}-V_{out}$ qui n'est pas complètement bénéfique puisqu'il conduit soit à redonner de l'énergie à l'entrée, soit d'en reprendre à la sortie et qui par ailleurs impose une excursion importante de la tension piézoélectrique totale V_p.

[0225] Le pilotage du convertisseur 10 privilégie alors, pour la tension piézoélectrique totale

V_p, les paliers V_{in}-V_{out} et V_{out}-V_{in} qui bénéficient à la fois à l'entrée et à la sortie et dont la valeur absolue est relativement limitée : $|V_{in}-V_{out}| < \text{Max}\ (V_{in}, V_{out})$.

[0226] Avantageusement, pour que ces deux paliers V_{in}-V_{out} et V_{out}-V_{in} soient pleinement bénéfiques, il est préférable au cours du cycle de résonance, que l'un ait lieu avant l'instant temporel t_3 (palier V_b) et l'autre après cet instant temporel t_3 (palier V_a ou V_c).

[0227] En complément, l'interrupteur complémentaire 28 permet en outre de connecter directement entre elles les premières extrémités 16 ou deuxième extrémités 18 entre-elles à un instant temporel où la différence de potentiel entres ces extrémités est nulle et dans le même temps de respecter, durant une phase à charge sensiblement constante, la condition facultative selon laquelle est commandé en position fermée en même temps au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36A, 46A connectés directement au premier ensemble piézoélectrique 12A et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs 36B, 46B connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique 12B, tous les autres interrupteurs 36, 46 des premières et deuxièmes branches de commutation 32, 42 étant commandés en position ouverte.

[0228] Selon ce complément facultatif, l'interrupteur complémentaire 28 permet alors d'offrir des valeurs additionnelles possibles pour la tension piézoélectrique totale V_p aux bornes du couple d'ensembles piézoélectriques 12A, 12B, tout en assurant des commutations en ZVS et en évitant l'introduction d'une composante de mode commun.

[0229] En complément facultatif, dans les exemples des figures 6 à 10, le convertisseur 10 comprend en outre au moins un circuit d'aide à la commutation 50, chaque circuit d'aide à la commutation 50 étant connecté à un point milieu respectif parmi les premier(s) 38 et deuxième(s) 48 points milieux, chaque circuit d'aide à la commutation 50 étant configuré pour, via la circulation d'un courant préalablement reçu, décharger une capacité parasite d'au moins un interrupteur 36, 46 du pont de commutation 30, 40 respectif auquel il est connecté, et respectivement charger au moins une capacité parasite d'un autre interrupteur 36, 46 dudit pont de commutation 30, 40.

[0230] Dans les exemples des figures 6 et 9, le convertisseur 10 comprend un unique circuit d'aide à la commutation 50 connecté au premier pont de commutation 30 ou bien au deuxième pont de commutation 40. Dans l'exemple de la [Fig.6], l'unique circuit d'aide à la commutation 50 est connecté au deuxième pont de commutation 40. Dans l'exemple de la [Fig.9], l'unique circuit d'aide à la commutation 50 est connecté au premier pont de commutation 30.

[0231] Dans les exemples des figures 6 et 9, le deuxième pont de commutation 40 comporte deux deuxièmes branches de commutation 42, respectivement le premier pont de commutation 30 comporte deux premières branches de commutation 32 ; et le circuit d'aide à la commutation 50 est alors connecté entre les points milieux respectifs 38, 48

des deux branches de commutation 32, 42 dudit pont 30, 40. Dans l'exemple de la [Fig.6], le circuit d'aide à la commutation 50 est alors connecté entre les deuxièmes points milieux 48 des deux deuxièmes branches de commutation 42 du deuxième pont de commutation 40. De manière analogue, dans l'exemple de la [Fig.9], le circuit d'aide à la commutation 50 est alors connecté entre les premiers points milieux 38 des deux premières branches de commutation 32 du premier pont de commutation 30.

[0232] En variante, non représentée, le convertisseur 10 comprend deux circuits d'aide à la commutation 50, un premier circuit d'aide à la commutation étant connecté au premier pont de commutation 30 et un deuxième circuit d'aide à la commutation étant connecté au deuxième pont de commutation 40.

[0233] Selon cette variante, l'homme du métier comprendra que chaque circuit d'aide à la commutation 50 est susceptible d'être connecté entre les points milieux respectifs 38, 48 des deux branches de commutation 32, 42.

[0234] Chaque circuit d'aide à la commutation 50 est configuré, via la circulation d'un courant I_{CALC} préalablement reçu, pour décharger au moins une capacité parasite d'un interrupteur 36, 46, de préférence un interrupteur à fermer, du pont de commutation 30, 40 respectif auquel il est connecté ; respectivement pour charger au moins une capacité parasite d'un autre interrupteur 36, 46, de préférence un interrupteur à ouvrir ou à maintenir ouvert, dudit pont de commutation 30, 40.

[0235] Chacun des interrupteurs dudit pont de commutation 30 est ouvert lors de la circulation, par le circuit d'aide à la commutation 50, du courant préalablement reçu.

[0236] Suite à cette circulation de courant, le/les interrupteur(s) 36, 46 dont la capacité parasite a été déchargée par le circuit d'aide à la commutation 50 est/sont fermés. Le/les autre(s) interrupteur(s) 36, 46 dont la capacité parasite a été chargée par le circuit d'aide à la commutation 50 reste ouvert.

[0237] Chaque circuit d'aide à la commutation 50 comporte par exemple une inductance 70 ; ou un premier ensemble formé de l'inductance 70 et d'une diode 72 connectées en série ; ou un deuxième ensemble formé de l'inductance 70 et d'un condensateur 74 connectés en série ; ou encore un élément piézoélectrique additionnel 76, comme représenté sur la [Fig.7].

[0238] Chaque circuit d'aide à la commutation 50 est par exemple une inductance 70, l'inductance 70 étant de préférence constituée d'une bobine et d'un circuit magnétique. En variante, chaque circuit d'aide à la commutation 50 est en forme du premier ensemble de l'inductance 70 et de la diode 72 connectées en série, et de préférence constitué dudit premier ensemble de l'inductance 70 et de la diode 72. En variante encore, chaque circuit d'aide à la commutation 50 est en forme du deuxième ensemble de l'inductance 70 et du condensateur 74 connectés en série, et de préférence constitué dudit deuxième ensemble de l'inductance 70 et du condensateur 74. En variante

encore, chaque circuit d'aide à la commutation 50 est en forme de l'élément piézoélectrique additionnel 76, et de préférence constitué de l'élément piézoélectrique additionnel 76.

[0239] Dans l'exemple de réalisation où le circuit d'aide à la commutation 50 est en forme de l'inductance 70 seule, l'inductance 70 voit son courant croitre sur une demi-période, i.e. lorsque la tension à ses bornes est positive ; puis son courant décroitre sur l'autre demi-période, i.e. lorsque la tension à ses bornes est négative. Cet exemple de réalisation du circuit d'aide à la commutation 50 nécessite de préférence que la tension aux bornes de l'inductance 70 soit de moyenne sensiblement nulle, au risque sinon d'avoir une dérive en courant. Si le circuit d'aide à la commutation 50 est connecté au deuxième pont 40, en particulier entre les deuxièmes points milieux 48, la tension aux bornes de l'inductance 70 est la tension V_{pb}. Corollairement, si le circuit d'aide à la commutation 50 est connecté au premier pont 30, en particulier entre les premiers points milieux 38, la tension aux bornes de l'inductance 70 est la tension V_{pa}.

[0240] La variante où le circuit d'aide à la commutation 50 est en forme de l'inductance 70 et de la diode 72 connectées en série, permet de charger l'inductance 70 uniquement sur une demi-période avec la bonne polarité, en particulier pour des cycles où le courant I_{CALC} est reçu au cours d'une période temporelle avec une seule polarité. En particulier, la diode 72 permet alors d'éviter de charger l'inductance 70 avec un courant inverse. Ce fonctionnement unidirectionnel en courant permet aussi de réduire le courant efficace vu par l'inductance 70 et donc les pertes. Par ailleurs, le circuit d'aide à la commutation 50 selon cette variante n'est pas sensible à la présence d'une composante continue à partir du moment où la composante continue est dans le sens d'un blocage de la diode 72.

[0241] La variante où le circuit d'aide à la commutation 50 est en forme de l'inductance 70 et du condensateur 74 connectés en série, permet - par rapport à l'exemple de l'inductance 70 seule - de réduire, voire d'éliminer une composante continue éventuelle. Néanmoins, le condensateur 74 peut être assez volumineux. En effet, la tension aux bornes du condensateur 74 doit évoluer peu, i.e. dans une faible proportion, par rapport à la tension d'entrée V_{in} ou à la tension de sortie V_{out}, par exemple avoir une amplitude inférieure à 50% de la tension d'entrée V_{in} ou de sortie V_{out}.

[0242] Selon la variante où le circuit d'aide à la commutation 50 est en forme de l'élément piézoélectrique additionnel 76, à partir du moment où le pilotage du convertisseur 10 s'effectue entre la fréquence de résonance et d'antirésonance de l'élément piézoélectrique additionnel 76, ce dernier se met à osciller et à produire un courant I_{CALC} sensiblement en quadrature avec la tension à ses bornes, telle que la tension V_{pb} si l'élément piézoélectrique additionnel 76 est connecté au deuxième pont 40 entre les

deuxièmes points milieux 48, ou encore la tension V_{pa} si l'élément piézoélectrique additionnel 76 est connecté au premier pont 30 entre les premiers points milieux 38. Le courant I_{CALC} passe alors par un extrema autour de l'instant temporel t3 pour le cycle abaisseur A_C, ce qui permet d'assurer la fonction d'inversion de la tension V_{pb} entre les instants temporels t_2 et t_3 ; ou similairement autour de l'instant temporel t_0 pour le cycle très élévateur TE_C décrit par la suite en regard de la [Fig.10], ce qui permet d'assurer la fonction d'inversion de la tension V_{pa} entre les instants temporels t_0 et t_1.

[0243] L'élément piézoélectrique additionnel 76 est typiquement au moins 3 fois plus petit que le ou les éléments piézoélectriques 15 du convertisseur 10, l'élément piézoélectrique additionnel 76 n'ayant qu'à charger/décharger les capacités parasites des interrupteurs 36, 46. La capacité parasite des interrupteurs 36, 46 est en effet considérée comme étant au moins trois fois inférieure à la capacité de référence C_0 du ou des éléments piézoélectriques 15 du convertisseur 10. Cette variante où le circuit d'aide à la commutation 50 est en forme de l'élément piézoélectrique additionnel 76 est insensible à une éventuelle composante continue (quelle que soit sa polarité), et le circuit d'aide à la commutation 50 est apte à être connecté aussi bien au premier pont 30 (tension V_{pa}) qu'au deuxième pont 40 (tension V_{pb}).

[0244] Autrement dit, la capacité de référence de l'élément piézoélectrique additionnel 76 est au moins trois fois inférieure à la capacité de référence C_0 de chaque ensemble piézoélectrique 12 connecté entre des premier 38 et deuxième 48 points milieux respectifs.

[0245] Le fonctionnement du convertisseur 10 dans l'exemple de la [Fig.6] va désormais être expliqué selon une configuration abaisseur de tension A_C en regard de la [Fig.8]. La différence résultant du circuit d'aide à la commutation 50 selon l'aspect complémentaire porte sur les évolutions des tensions V_{pa} et V_{pb} entre les instants temporels t_2 et t_3 et entre les instants temporels t_0 et t_1 dans le cas la configuration abaisseur A_C, et plus particulièrement sur les zones représentées en trait pointillé sur la [Fig.8], ceci pour marquer la différence.

[0246] Le cycle de conversion du convertisseur 10 selon l'aspect complémentaire est décrit ci-après pour la configuration abaisseur A_C, en se focalisant sur les différences par rapport au cycle de conversion du convertisseur 10 de la [Fig.1] pour la même configuration abaisseur A.

[0247] Pour la configuration abaisseur A_C, entre les instants temporels t_1 et t_2, selon l'exemple de réalisation du circuit d'aide à la commutation 50, l'inductance 70 ou bien l'élément piézoélectrique additionnel 76 voit son courant I_{CALC} augmenter, ceci sous la tension V_{pb} égale à V_{out}. En l'instant temporel t_2, le courant I_{CALC} est positif.

[0248] Juste avant l'instant temporel t_2, la tension piézoélectrique totale V_p est égale à V_{out}-V_{in}, la tension V_{pa} étant égale à $-V_{in}$, et la tension V_{pb} étant égale à $+V_{out}$; et les inter-

rupteurs K_5, K_8, K_1, K_4 sont fermés.

[0249] En l'instant temporel t_2, tous les interrupteurs qui étaient fermés s'ouvrent. Le courant I_{CALC} charge alors les capacités parasites des interrupteurs K_1, K_4, pendant qu'il décharge les capacités parasites des interrupteurs K_2 et K_3. De même, au travers des ensembles piézoélectriques 12 dont la tension évolue lentement, le courant I_{CALC} charge partiellement les capacités parasites des interrupteurs K_5, K_8, pendant qu'il décharge partiellement les capacités parasites des interrupteurs K_6, K_7. La tension V_{pb} évolue ainsi de $+V_{out}$ à $-V_{out}$, tandis que la tension V_{pa} évolue sensiblement de $-V_{in}$ à $-V_{in}+2V_{out}$ plus l'évolution de la tension piézoélectrique totale V_p depuis l'instant temporel t_2.

[0250] L'inversion de tension V_{pb} est considérée achevée avant que la tension piézo-électrique totale V_p atteigne le palier V_a suivant. En effet, même si l'amplitude du courant I_{CALC} dans le circuit d'aide à la commutation 50 est bien inférieure à l'amplitude du courant interne I_L des éléments piézoélectriques 15 (par exemple au moins 3 fois inférieure pour limiter sa taille), celui-ci n'a néanmoins qu'à charger/ décharger les capacités parasites des interrupteurs 36, 46 considérées bien inférieures à la capacité de référence C_0 des éléments piézoélectriques 15 (au moins un facteur 3). Par ailleurs, le courant I_{CALC} dans le circuit d'aide à la commutation 50 se rapproche de sa valeur maximale en l'instant temporel t_3, alors que le courant interne I_L se rapproche de 0 en ledit instant temporel t_3.

[0251] Une fois l'inversion complète de la tension V_{pb} atteinte (passage de V_{out} à $-V_{out}$), alors les interrupteurs K_2 et K_3 sont fermés de sorte à figer la tension V_{pb}, tandis que la tension V_{pa} continue sa progression jusqu'à V_{in} sous l'effet de l'augmentation naturelle de la tension piézoélectrique totale V_p.

[0252] En l'instant temporel t_3, les interrupteurs K_6 et K_7 sont fermés. Les interrupteurs K_2 et K_3 sont également fermés si cela n'avait pas été déjà fait avant, i.e. si la tension V_{pb} n'avait pas encore atteint $-V_{out}$.

[0253] En complément, si les interrupteurs K_2 et K_3 comportent une diode inverse intrinsèque ou une diode additionnelle placée en parallèle, leur mise en conduction peut se faire naturellement au regard du signe du courant interne I_L après l'instant temporel t_3, ou au regard du courant I_{CALC} résiduel avant l'instant temporel t_3.

[0254] L'excursion en tension de la tension piézoélectrique totale V_p est ainsi limitée entre les instants temporels t_2 et t_4, celle-ci allant de $V_{out}-V_{in}$ à $V_{in}-V_{out}$, au lieu d'aller de $V_{out}-V_{in}$ à $+V_{in}+V_{out}$ avec le convertisseur 10 de la [Fig.1] (dans le cas de la configuration abaisseur A pour assurer des commutations des interrupteurs 36, 46 à zéro de tension), soit une excursion de $2V_{in}-2V_{out}$ au lieu de $2V_{in}$, tout en assurant des commutations des interrupteurs 36, 46 à zéro de tension.

[0255] Les quatrième IV et cinquième V phases du cycle de conversion du convertisseur 10 selon l'aspect complémentaire sont ensuite inchangées par rapport à celles du cycle de

conversion du convertisseur 10 de la [Fig.1].

[0256] Entre les instants temporels t_5 et t_6, selon l'exemple de réalisation du circuit d'aide à la commutation 50, l'inductance 70 ou bien l'élément piézoélectrique additionnel 76 voit son courant I_{CALC} diminuer, ceci sous la tension V_{pb} égale à $-V_{out}$. En l'instant temporel t_6, le courant I_{CALC} est négatif.

[0257] Juste avant l'instant temporel t_6, la tension piézoélectrique totale V_p est égale à $-V_{out}$, la tension V_{pa} étant égale à 0, et la tension V_{pb} étant égale à $-V_{out}$; et les interrupteurs K_2, K_3, ainsi que l'interrupteur complémentaire K_9, sont fermés.

[0258] En l'instant temporel t_6, tous les interrupteurs qui étaient fermés s'ouvrent. Le courant I_{CALC} charge alors les capacités parasites des interrupteurs K_2 et K_3, pendant qu'il décharge les capacités parasites des interrupteurs K_1, K_4. De même, au travers des ensembles piézoélectriques 12 dont la tension évolue lentement, le courant I_{CALC} décharge partiellement les capacités parasites des interrupteurs K_5, K_8.

[0259] Comme $V_{in}<2V_{out}$, la tension V_{pa} atteint $-V_{in}$ avant que la tension V_{pb} atteigne V_{out}, la tension V_{pa} étant partie de 0 (valeur nulle aux bornes de l'interrupteur complémentaire K_9 fermé), tandis que la tension V_{pb} est partie de $-V_{out}$. L'inversion de la tension V_{pb} n'est alors que partielle, car dès que la tension V_{pa} atteint $-V_{in}$, les interrupteurs K_5 et K_8 se ferment (par exemple, de par les diodes inverses qui deviennent passantes). Il faut alors attendre que la tension piézoélectrique totale V_p atteigne le palier V_b suivant, égal à $V_{out}-V_{in}$, en l'instant temporel t_1 pour que l'inversion de la tension V_{pb} soit complète.

[0260] Une fois l'inversion complète de la tension V_{pb} atteinte (passage de $-V_{out}$ à $+V_{out}$), alors les interrupteurs K_1 et K_4 sont fermés de sorte à figer la tension V_{pb}.

[0261] Là encore, l'excursion en tension de la tension piézoélectrique totale V_p est ainsi limitée entre les instants temporels t_5 et t_1, celle-ci allant de $-V_{out}$ à $V_{out}-V_{in}$, au lieu d'aller de $-V_{in}-V_{out}$ à $V_{out}-V_{in}$ avec le convertisseur 10 de la [Fig.1] (dans le cas de la configuration abaisseur A pour assurer des commutations des interrupteurs 36, 46 à zéro de tension), soit une excursion de de $2V_{out}-V_{in}$ au lieu de $2V_{out}$, tout en assurant des commutations des interrupteurs 36, 46 à zéro de tension.

[0262] Les figures 9 et 10 illustrent une variante de réalisation du convertisseur 10 pour lequel le circuit d'aide à la commutation 50 est connecté au deuxième pont de commutation 40, par exemple entre les deuxièmes points milieux 48 des deux deuxièmes branches de commutation 42.

[0263] Le fonctionnement du convertisseur 10 dans l'exemple de la [Fig.9] va désormais être expliqué selon une configuration très élévateur de tension TE_C en regard de la [Fig.10]. La différence résultant du circuit d'aide à la commutation 50 selon cet aspect complémentaire porte sur les évolutions des tensions V_{pa} et V_{pb} entre les instants temporels t_0 et t_1, et plus particulièrement sur les zones représentées en trait pointillé sur la [Fig.10], ceci pour marquer la différence.

[0264] Le cycle de conversion du convertisseur 10 selon cet aspect complémentaire est décrit ci-après pour la configuration très élévateur de tension TE_C, en se focalisant sur les différences par rapport au cycle de conversion du convertisseur 10 de la [Fig.3] pour la même configuration élévateur, notée TE à la [Fig.4].

[0265] Pour la configuration abaisseur A_C, décrite précédemment, c'était la tension V_{pa} qui avait une polarité homogène sur chacune des deux demi-périodes avec une inversion de polarité entre les deux demi-périodes, et il était alors préférable de disposer le circuit d'aide à la commutation 50 du côté de la tension V_{pa}, i.e. connecté au premier pont de commutation 30, entre les premiers points milieux 38 respectifs.

[0266] Cette fois-ci, pour la configuration très élévateur TE_C, le circuit d'aide à la commutation 50 est disposé du côté de la tension V_{pa}, i.e. connecté au premier pont de commutation 30, entre les premiers points milieux 38 respectifs.

[0267] Pour la configuration très élévateur TE_C, entre les instants temporels t_5 et T (ou t_0), selon l'exemple de réalisation du circuit d'aide à la commutation 50, l'inductance 70 ou bien l'élément piézoélectrique additionnel 76 voit son courant I_{CALC} diminuer, ceci sous la tension V_{pa} égale à $-V_{in}$. En l'instant temporel T (ou t_0), le courant I_{CALC} est négatif.

[0268] Juste avant l'instant temporel t_0, la tension piézoélectrique totale V_p est égale à $V_{out}-V_{in}$, la tension V_{pa} étant égale à $-V_{in}$, et la tension V_{pb} étant égale à V_{out} ; et les interrupteurs K_5, K_8, K_1, K_4 sont fermés.

[0269] En l'instant temporel t_0, tous les interrupteurs qui étaient fermés s'ouvrent. Le courant I_{CALC} charge alors les capacités parasites des interrupteurs K_5, K_8, pendant qu'il décharge les capacités parasites des interrupteurs K_6, K_7. De même, au travers des ensembles piézoélectriques 12 dont la tension évolue lentement, le courant I_{CALC} charge partiellement les capacités parasites des interrupteurs K_1, K_4. La tension V_{pa} évolue ainsi de $-V_{in}$ à $+V_{in}$, tandis que la tension V_{pb} évolue sensiblement de V_{out} à $V_{out}-2V_{in}$ plus l'évolution de la tension piézoélectrique totale V_p depuis l'instant temporel t_0.

[0270] L'inversion de tension V_{pa} est considérée achevée avant que la tension piézoélectrique totale V_p atteigne le palier V_b suivant. En effet, même si l'amplitude du courant I_{CALC} dans le circuit d'aide à la commutation 50 est bien inférieure à l'amplitude du courant interne I_L des éléments piézoélectriques 15 (par exemple au moins 3 fois inférieure pour limiter sa taille), celui-ci n'a néanmoins qu'à charger/décharger les capacités parasites des interrupteurs 36, 46 considérées bien inférieures à la capacité de référence C_0 des éléments piézoélectriques 15 (au moins un facteur 3). Par ailleurs, le courant I_{CALC} dans le circuit d'aide à la commutation 50 se rapproche de sa valeur minimale (son extremum négatif) en l'instant temporel t_0, alors que le courant interne I_L se rapproche de 0 en ledit instant temporel t_0.

[0271] Une fois l'inversion complète de la tension V_{pa} atteinte (passage de $-V_{in}$ à $+V_{in}$), alors

les interrupteurs K_6 et K_7 sont fermés de sorte à figer la tension V_{pa}, tandis que la tension V_{pb} continue sa progression jusqu'à 0 sous l'effet de la diminution naturelle de la tension piézoélectrique totale V_p.

[0272] Le reste du cycle de conversion du convertisseur 10 selon l'aspect complémentaire reste sensiblement inchangé par rapport au cycle de conversion du convertisseur 10 de la [Fig.3].

[0273] L'excursion en tension de la tension piézoélectrique totale V_p est ainsi limitée entre les instants temporels t_5 et t_1, celle-ci allant de V_{out}-V_{in} à V_{in}, au lieu d'aller de $+V_{in}+V_{out}$ à V_{in} avec le convertisseur 10 de la [Fig.3] (dans le cas de la configuration très élévateur TE pour assurer des commutations des interrupteurs 36, 46 à zéro de tension), soit une excursion de V_{out}-$2V_{in}$ au lieu de V_{out}, tout en assurant des commutations des interrupteurs 36, 46 à zéro de tension.

[0274] En complément facultatif, lorsque le convertisseur 10 comprend deux circuits d'aide à la commutation 50, avec le premier circuit d'aide à la commutation connecté au premier pont de commutation 30 et le deuxième circuit d'aide à la commutation connecté au deuxième pont de commutation 40, les circuits d'aide à la commutation 50 étant alors agencés à la fois du côté de la tension V_{pa} et du côté de la tension V_{pb}, les effets des deux circuits d'aide à la commutation 50 s'additionnent. Il faut juste choisir les circuit d'aide à la commutation 50 en fonction de la présence ou non d'une composante continue, et éventuellement selon le signe de cette composante continue s'il y en a une.

[0275] On conçoit ainsi que le convertisseur d'énergie électrique 10 selon cet aspect complémentaire offre un pilotage encore davantage amélioré de par le circuit d'aide à la commutation 50.

Revendications

[Revendication 1] Convertisseur d'énergie électrique (10) apte à convertir une tension d'entrée (V_{in}) en au moins une tension de sortie (V_{out}), le convertisseur (10) comprenant :
- au moins un couple de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, chaque ensemble piézoélectrique (12A,12B) comportant au moins un élément piézoélectrique (15),
- un premier pont de commutation (30) comportant deux premières branches de commutation (32), chaque première branche de commutation (32) comportant au moins un premier interrupteur (36) ;
- au moins un deuxième pont de commutation (40) comportant deux deuxièmes branches de commutation (42), chaque deuxième branche de commutation (42) comportant au moins un deuxième interrupteur (46) ;
chaque ensemble piézoélectrique (12A,12B) comportant une première extrémité (16) connectée au premier pont de commutation (30) et une deuxième extrémité (18) connectée au deuxième pont de commutation (40) ;
chaque premier interrupteur (36) étant connecté entre une borne (34) d'application de la tension d'entrée (V_{in}) et une première extrémité (16) respectives ;
chaque deuxième interrupteur (46) étant connecté entre une borne (44) de fourniture de la tension de sortie (V_{out}) et une deuxième extrémité (18) respectives ;
caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un interrupteur complémentaire (28) connecté directement entre des extrémités (16 ; 18) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites extrémités (16 ; 18) reliées directement entre elles via un interrupteur complémentaire (28) respectif étant connectées à un même pont de commutation (30 ; 40) respectif.

[Revendication 2] Convertisseur (10) selon la revendication 1, dans lequel le convertisseur (10) comprend deux interrupteurs complémentaires (28), un premier interrupteur complémentaire (28) étant connecté directement entre les premières extrémités (16) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités (16) étant connectées au premier pont de commutation (30) et un deuxième interrupteur complémentaire (28) étant connecté directement entre les deuxièmes extrémités (18) d'un couple respectif de

premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités (18) étant connectées au deuxième pont de commutation (40).

[Revendication 3] Convertisseur (10) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le convertisseur d'énergie électrique (10) est apte à convertir la tension d'entrée (V_{in}) en plusieurs tensions de sortie (V_{out_j}) distinctes, et comporte
pour chaque tension de sortie (V_{out_j}) respective :
+ un deuxième pont de commutation (40) respectif ;
+ un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques.

[Revendication 4] Convertisseur (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le convertisseur (10) comprend en outre au moins un circuit d'aide à la commutation (50), chaque circuit d'aide à la commutation (50) étant connecté entre des extrémités (16 ; 18) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites extrémités (16 ; 18) reliées entre elles via un circuit d'aide à la commutation (50) respectif étant connectées à un même pont de commutation (30 ; 40) respectif, chaque circuit d'aide à la commutation (50) étant configuré pour, via la circulation d'un courant préalablement reçu, décharger une capacité parasite d'un interrupteur (36 ; 46) du pont de commutation respectif (30 ; 40) auquel il est connecté, et respectivement charger une capacité parasite d'un autre interrupteur (36 ; 46) dudit pont de commutation (30 ; 40).

[Revendication 5] Convertisseur (10) selon la revendication 4, dans lequel le convertisseur (10) comprend deux circuits d'aide à la commutation (50), un premier circuit d'aide à la commutation étant connecté les premières extrémités (16) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités (16) étant connectées au premier pont de commutation (30) et un deuxième circuit d'aide à la commutation étant connecté entre les deuxièmes extrémités (18) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités (18) étant connectées au deuxième pont de commutation (40).

[Revendication 6] Convertisseur (10) selon la revendication 4 ou 5, dans lequel chaque circuit d'aide à la commutation (50) comporte un élément choisi parmi le groupe consistant en : une inductance (70) ; un premier ensemble formé d'une inductance (70) et d'une diode (72) connectées en série ; un

deuxième ensemble formé d'une inductance (70) et d'un condensateur (74) connectés en série ; et un élément piézoélectrique additionnel (76) ; chaque circuit d'aide à la commutation (50) étant de préférence constitué d'un élément choisi parmi ledit groupe.

[Revendication 7] Convertisseur (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque ensemble piézoélectrique (12A,12B) est constitué selon l'une des constitutions parmi le groupe consistant en : un unique élément piézoélectrique (15) ; plusieurs éléments piézoélectriques (15) connectés en série ; plusieurs éléments piézoélectriques (15) connectés en parallèle ; et un agencement de plusieurs branches piézoélectriques parallèles, chaque branche comportant un ou plusieurs éléments piézoélectriques (15) connectés en série.

[Revendication 8] Convertisseur (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque première branche de commutation (32) est connectée entre deux bornes (34) d'application de la tension d'entrée (V_{in}) et comporte au moins deux premiers interrupteurs (36) connectés en série et reliés entre eux en un premier point milieu (38), chaque premier point milieu (38) étant alors connecté à une première extrémité (16) respective.

[Revendication 9] Convertisseur (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque deuxième branche de commutation (42) est connectée entre deux bornes (44) de fourniture d'une tension de sortie (V_{out}) respective et comporte au moins deux deuxièmes interrupteurs (46) connectés en série et reliés entre eux en un deuxième point milieu (48), chaque deuxième point milieu (48) étant alors connecté à une deuxième extrémité (18) respective.

[Revendication 10] Système électronique de conversion d'énergie électrique (5) comprenant un convertisseur d'énergie électrique (10) et un dispositif électronique (20) de pilotage du convertisseur d'énergie électrique (10), caractérisé en ce que le convertisseur d'énergie électrique (10) est selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[Revendication 11] Système (5) selon la revendication 10, dans lequel le dispositif électronique de pilotage (20) est configuré pour commander, lors d'un cycle respectif de résonance des ensembles piézoélectriques (12A,12B), une commutation de chacun des interrupteurs (36, 46) pour alterner des phases (II, IV, VI) à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques (12A,12B) et des phases (I, III, V) à charge sensiblement constante aux bornes desdits ensembles piézoélectriques

(12A,12B).

[Revendication 12] Système (5) selon la revendication 11, dans lequel le dispositif électronique de pilotage (20) est configuré en outre pour, lors d'au moins une phase (II, IV, VI) à tension sensiblement constante, commander au moins un interrupteur complémentaire (28) respectif en position fermée.

[Revendication 13] Système (5) selon la revendication 11 ou 12, dans lequel le dispositif électronique de pilotage (20) est configuré pour, lors de chaque phase (I, III, V) à charge sensiblement constante, commander en position fermée en même temps au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs (36A, 46A) connectés directement au premier ensemble piézoélectrique (12A) et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs (36B, 46B) connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique (12B), et en position ouverte tous les autres interrupteurs (36, 46) des premières et deuxièmes branches de commutation (32, 42).

[Revendication 14] Système (5) selon les revendications 12 et 13, dans lequel, en l'absence de commande d'un interrupteur complémentaire (28) respectif en position fermée lors d'une phase (II, IV, VI) respective à tension sensiblement constante, la valeur (V_a, V_b, V_c) de la tension lors de la phase (II, IV, VI) à tension sensiblement constante est choisie parmi le groupe de valeurs consistant en : différence ($V_{in} - V_{out}$) entre la valeur de la tension d'entrée (V_{in}) et celle de la tension de sortie (V_{out}) ; différence ($V_{out} - V_{in}$) entre la valeur de la tension de sortie (V_{out}) et celle de la tension d'entrée (V_{in}) ; somme ($V_{in} + V_{out}$) des valeurs des tensions d'entrée (V_{in}) et de sortie (V_{out}) ; et opposé de la somme ($-V_{in} - V_{out}$) des valeurs des tensions d'entrée (V_{in}) et de sortie (V_{out}) ; et
avec la commande d'au moins un interrupteur complémentaire (28) respectif en position fermée lors d'une phase (II, IV, VI) respective à tension sensiblement constante, ledit groupe de valeurs comporte en outre : valeur de la tension d'entrée (V_{in}) ; opposé ($-V_{in}$) de la valeur de la tension d'entrée (V_{in}) ; valeur de la tension de sortie (V_{out}) ; opposé ($-V_{out}$) de la valeur de la tension de sortie (V_{out}) ; et valeur nulle.

[Revendication 15] Système (5) selon la revendication 14, dans lequel ledit groupe de valeurs comporte la valeur de la tension d'entrée (V_{in}) et l'opposé ($-V_{in}$) de la valeur de la tension d'entrée (V_{in}) si le convertisseur (10) comprend un interrupteur complémentaire (28) respectif connecté directement entre les deuxièmes extrémités (18) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites deuxièmes extrémités (18) étant connectées au deuxième pont de com-

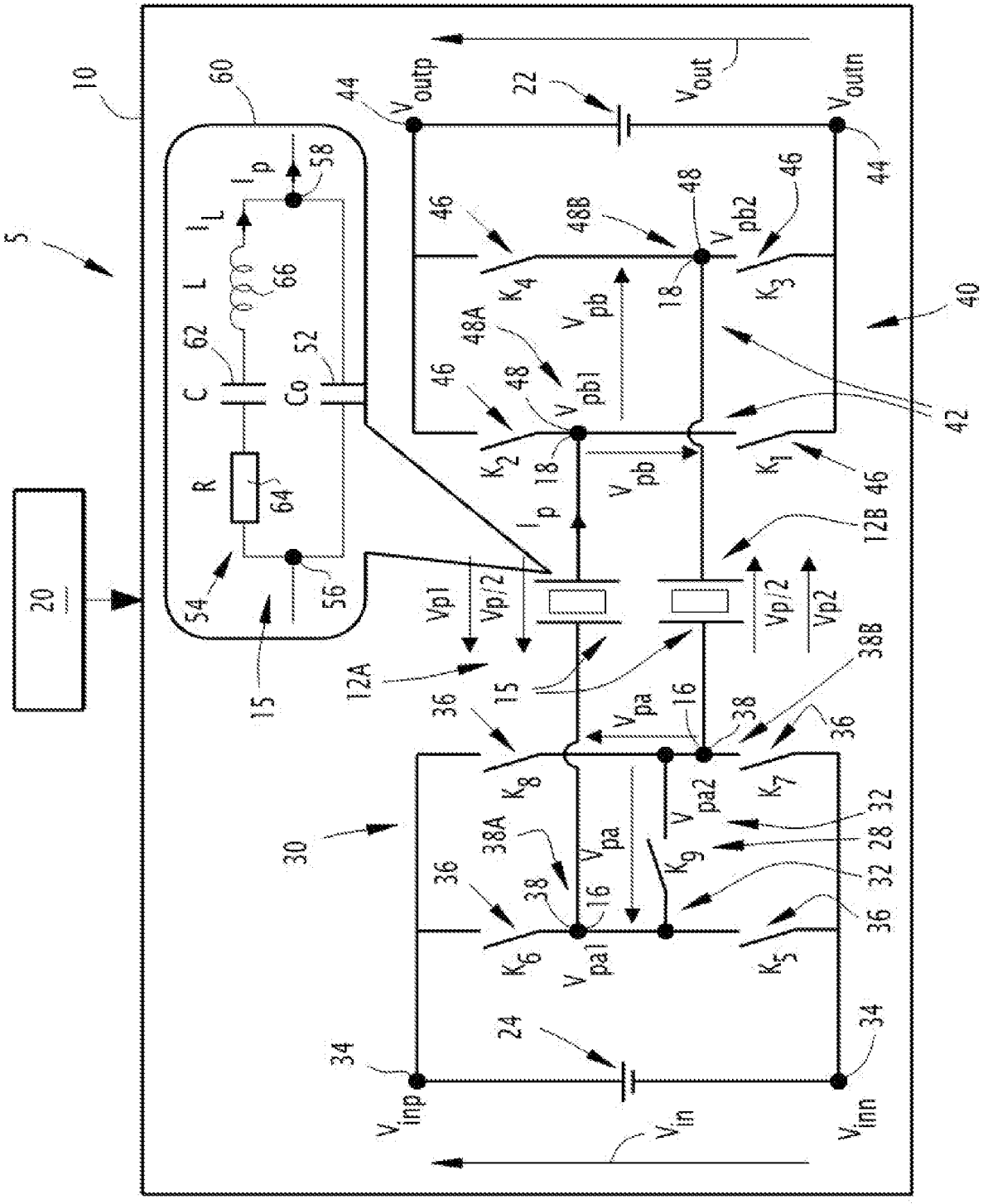
mutation (40) ;
ledit groupe de valeurs comporte la valeur de la tension de sortie (V_{out}) et l'opposé
($-V_{out}$) de la valeur de la tension de sortie (V_{out}) si le convertisseur (10) comprend un interrupteur complémentaire (28) respectif connecté directement entre les premières extrémités (16) d'un couple respectif de premier (12A) et deuxième (12B) ensembles piézoélectriques, lesdites premières extrémités (16) étant connectées au premier pont de commutation (30) ;
ledit groupe de valeurs comporte la valeur nulle si le convertisseur (10) est selon la revendication 2.

[Revendication 16] Système (5) selon l'une quelconque des revendications 10 à 15, dans lequel le système électronique de conversion d'énergie électrique (5) est un système de conversion en une énergie électrique continue, tel qu'un système de conversion continu-continu ou un système de conversion alternatif-continu.

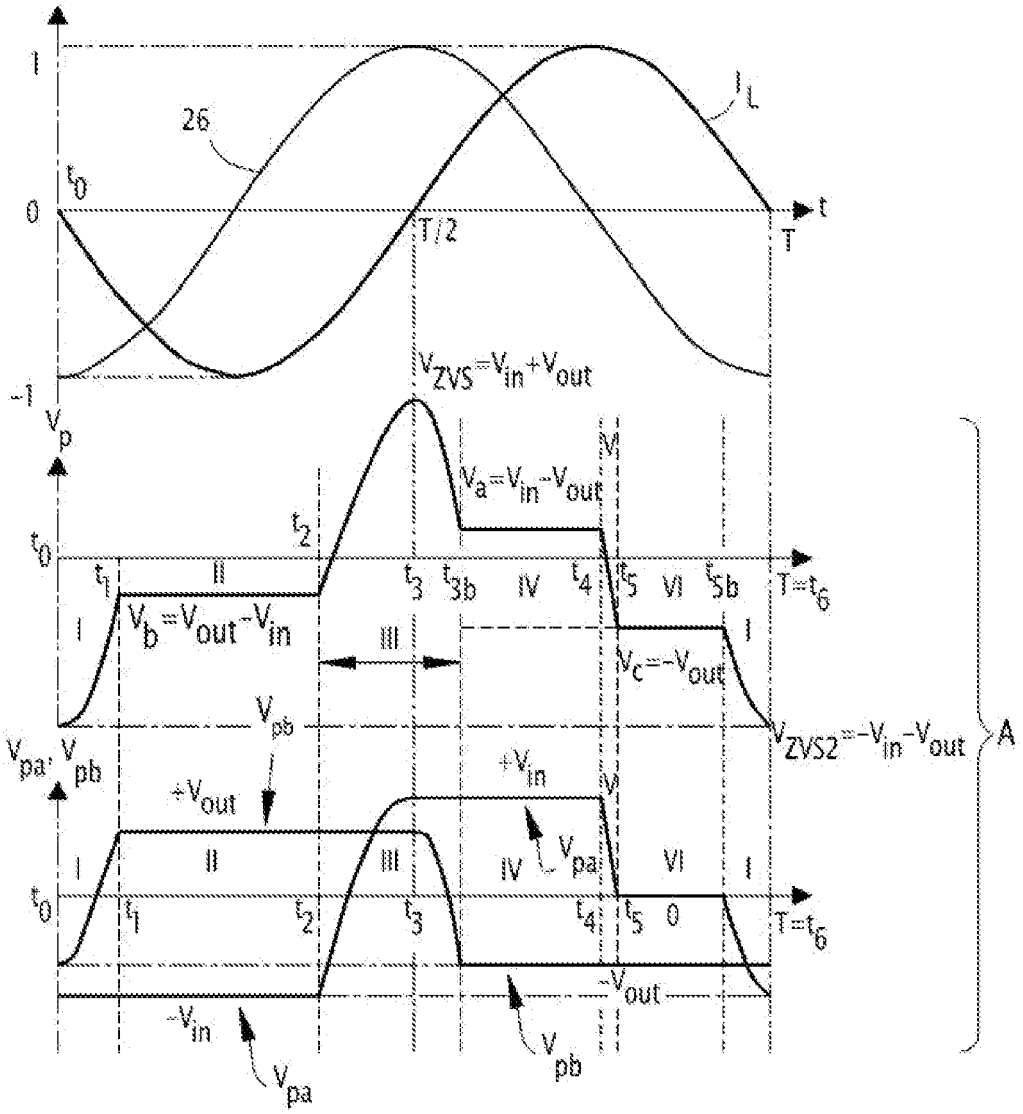
[Revendication 17] Procédé de pilotage d'un convertisseur d'énergie électrique (10), le convertisseur (10) étant selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, le procédé étant mis en œuvre par un dispositif électronique de pilotage (20) et comprenant la commande, lors d'un cycle respectif de résonance des ensembles piézoélectriques (12A,12B), d'une commutation de chacun des interrupteurs (36, 46) pour alterner des phases (II, IV, VI) à tension sensiblement constante aux bornes des ensembles piézoélectriques (12A,12B) et des phases (I, III, V) à charge sensiblement constante aux bornes desdits ensembles piézoélectriques (12A,12B), caractérisé en ce que, lors d'au moins une phase (II, IV, VI) à tension sensiblement constante, au moins un interrupteur complémentaire (28) respectif est commandé en position fermée.

[Revendication 18] Procédé selon la revendication 17, dans lequel, lors de chaque phase (I, III, V) à charge sensiblement constante, au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs (36A, 46A) connectés directement au premier ensemble piézoélectrique (12A) et au plus un interrupteur respectif parmi les interrupteurs (36B, 46B) connectés directement au deuxième ensemble piézoélectrique (12B) sont commandés en position fermée en même temps, et tous les autres interrupteurs (36, 46) des premières et deuxièmes branches de commutation (32, 42) sont commandés en position ouverte.

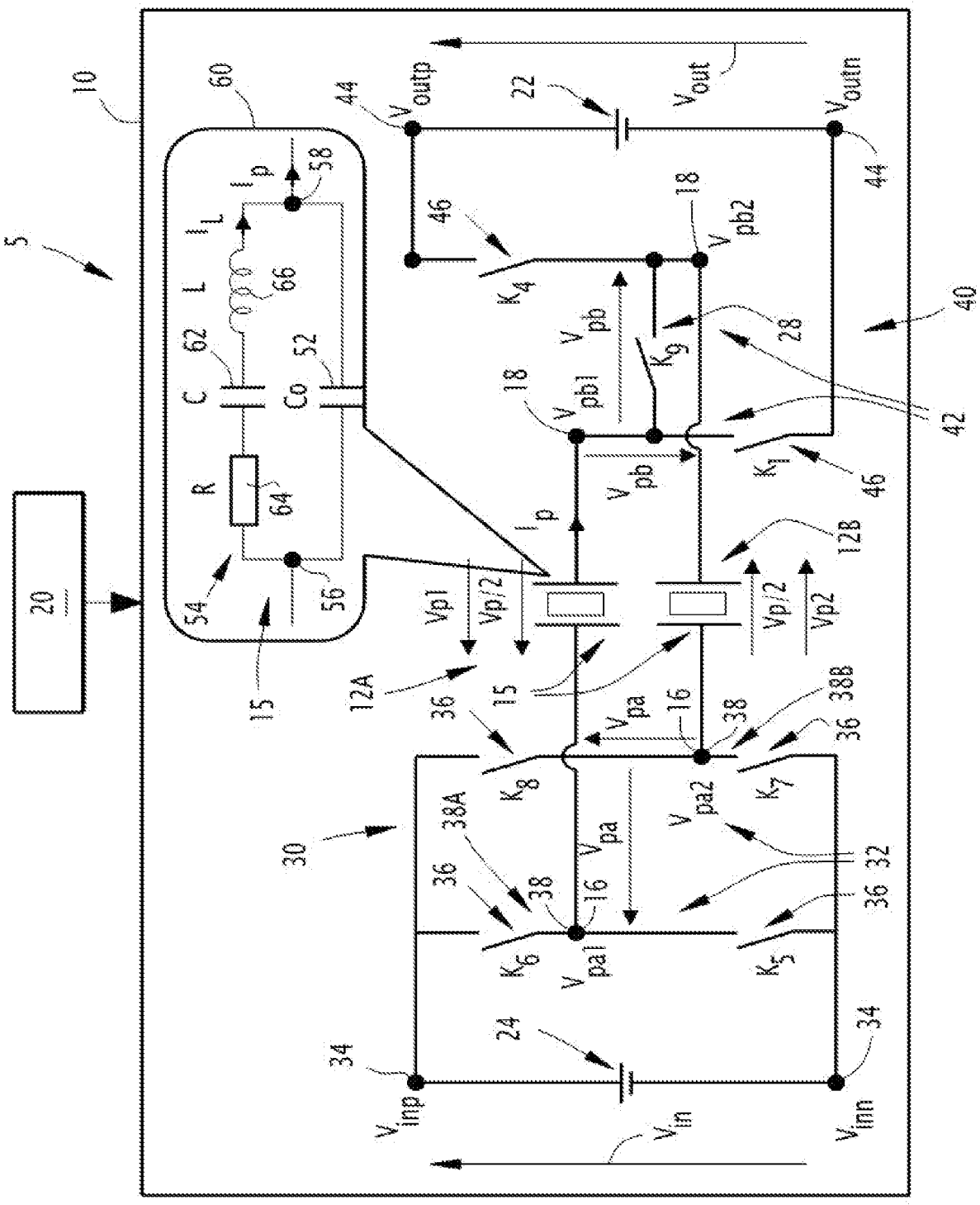
[Fig. 1]


10
5
20
60
58
i_p
i_L
L
66
C
62
Co
52
R
64
54
56
15
12A
12B
Vp1
Vp/2
Vp2
V_{outp}
V_{outn}
V_{out}
22
44
46
48
48A
48B
V_{pb2}
V_{pb1}
V_{pb}
K_1
K_2
K_3
K_4
18
40
42
V_{pa}
V_{pa2}
V_{pa1}
16
38
38A
38B
K_5
K_6
K_7
K_8
K_9
30
32
28
34
V_{inp}
V_{inn}
V_{in}
24

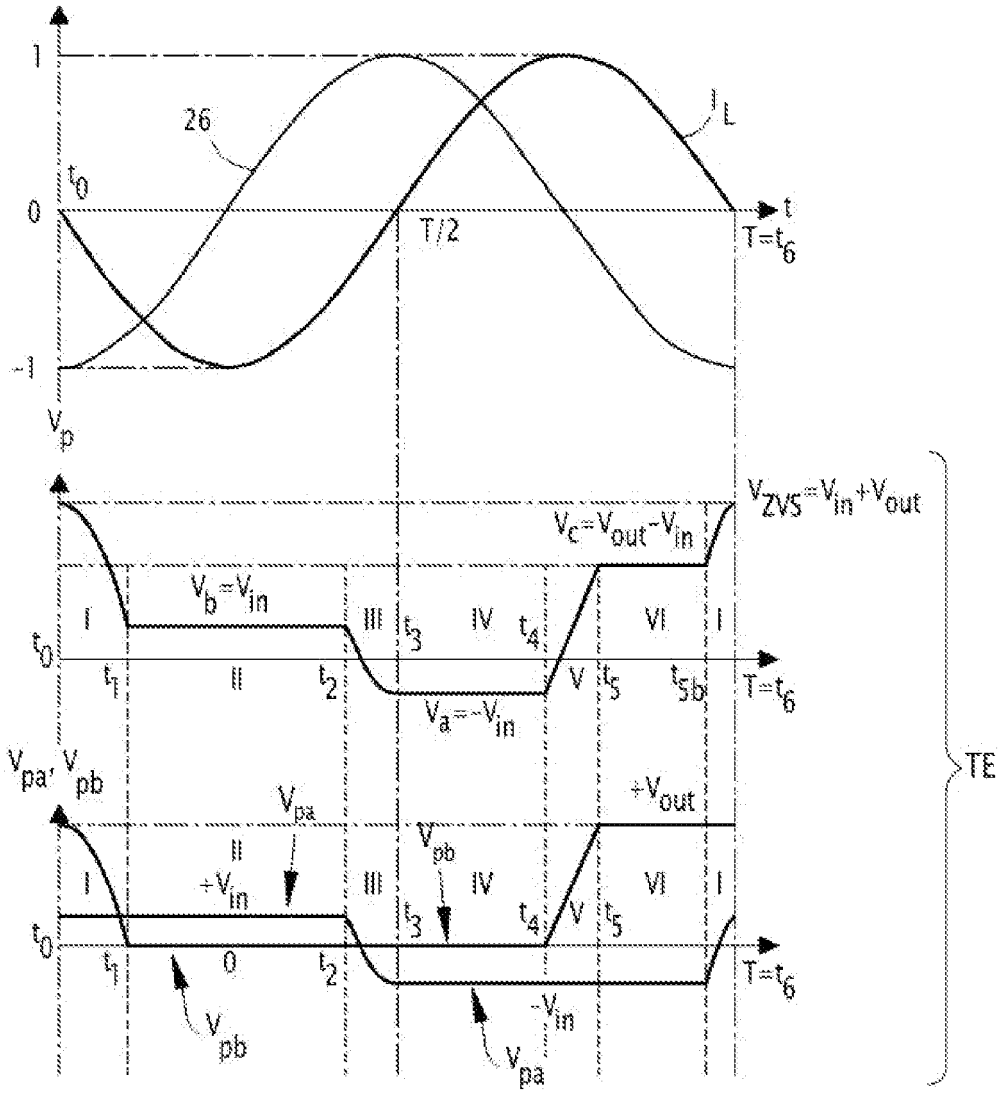
[Fig. 2]


1
0
-1
26
I_L
t_0
t
T/2
T
$V_{ZVS}=V_{in}+V_{out}$
V_p
$V_a=V_{in}-V_{out}$
t_2
t_1
II
t_3
t_{3b}
IV
t_4
t_5
VI
t_{5b}
$T=t_6$
I
$V_b=V_{out}-V_{in}$
III
$V_c=-V_{out}$
V_{pb}
$V_{ZVS2}=-V_{in}-V_{out}$
A
V_{pa}, V_{pb}
$+V_{out}$
$+V_{in}$
V
V_{pa}
0
$-V_{out}$
$-V_{in}$

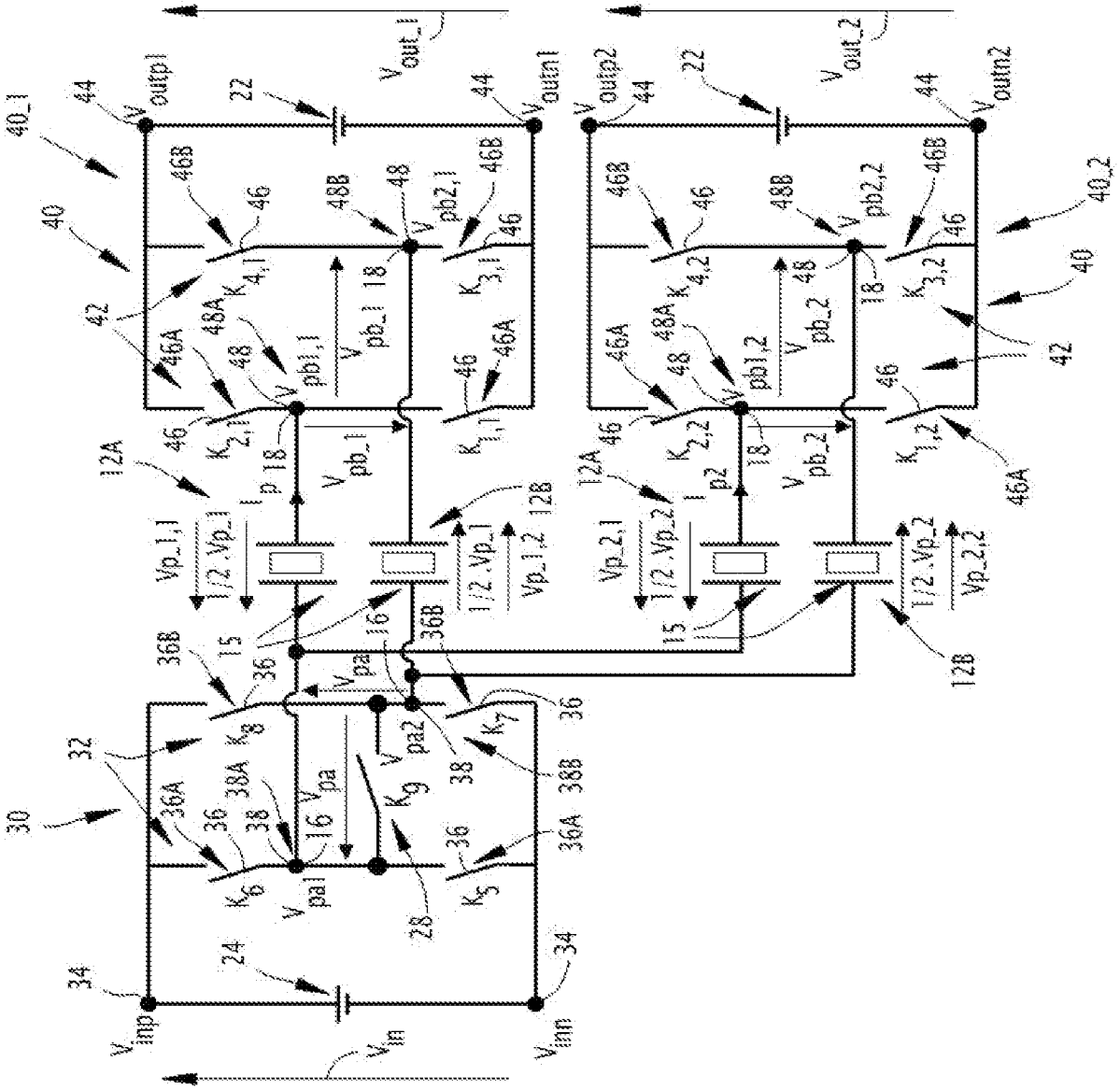
[Fig. 3]


10
5
20
60
58
I_p
I_L
L
66
C
62
Co
52
R
64
54
56
15
12A
Vp1
Vp/2
36
15
V_{pa}
16
38
38A
38B
K_8
K_7
K_6
K_5
V_{pa1}
V_{pa2}
30
32
34
24
V_{inp}
V_{inn}
V_{in}
44
V_{outp}
V_{outn}
V_{out}
22
46
K_4
18
V_{pb2}
V_{pb}
K_9
28
40
V_{pb1}
K_1
42
12B
Vp/2
Vp2

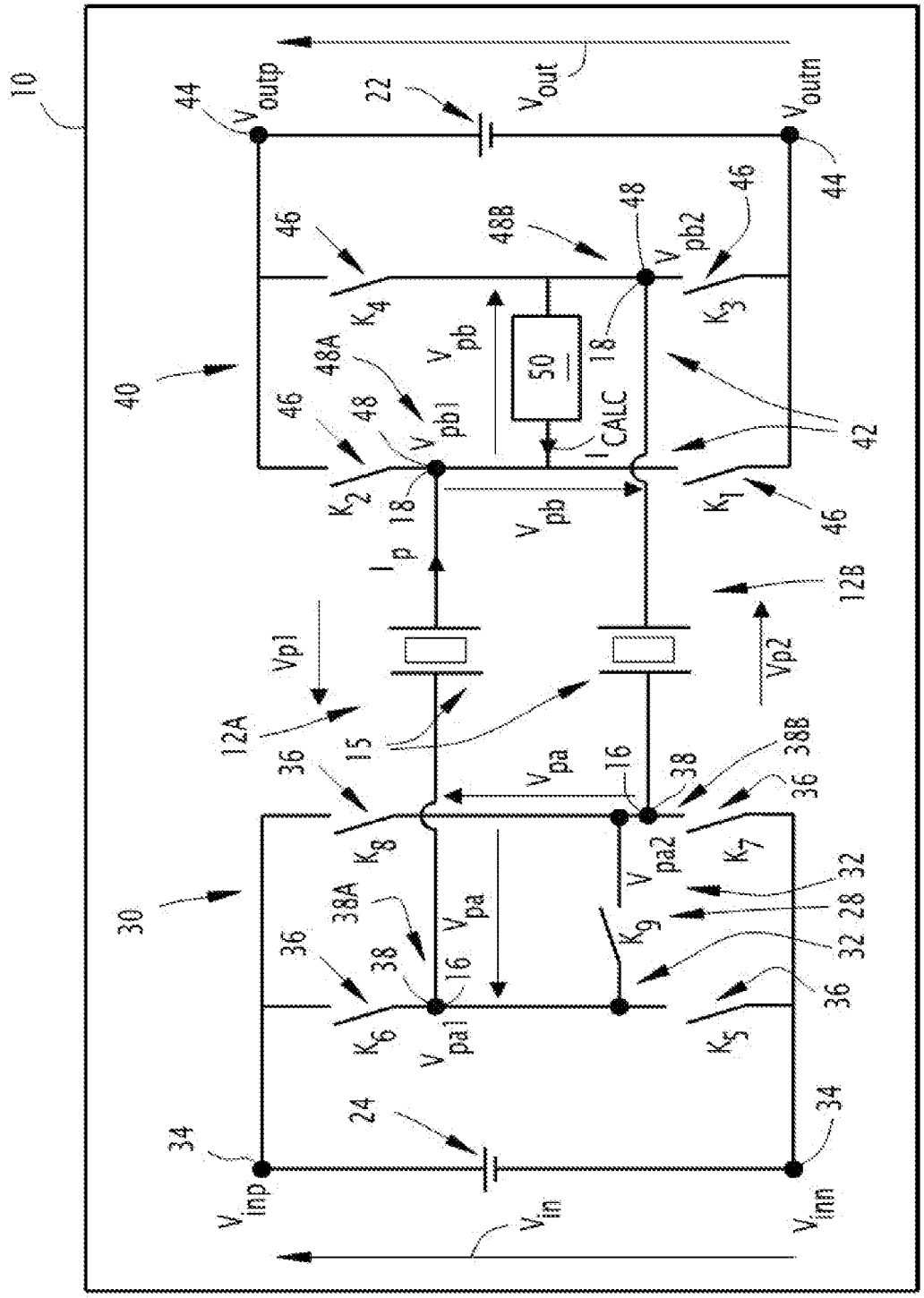
[Fig. 4]


1
0
-1
26
t_0
T/2
t
$T=t_6$
I_L
V_p
$V_{ZVS}=V_{in}+V_{out}$
$V_c=V_{out}-V_{in}$
$V_b=V_{in}$
I
II
III
IV
V
VI
t_1
t_2
t_3
t_4
t_5
t_{5b}
$V_a=-V_{in}$
V_{pa}, V_{pb}
$+V_{out}$
$+V_{in}$
0
$-V_{in}$
TE

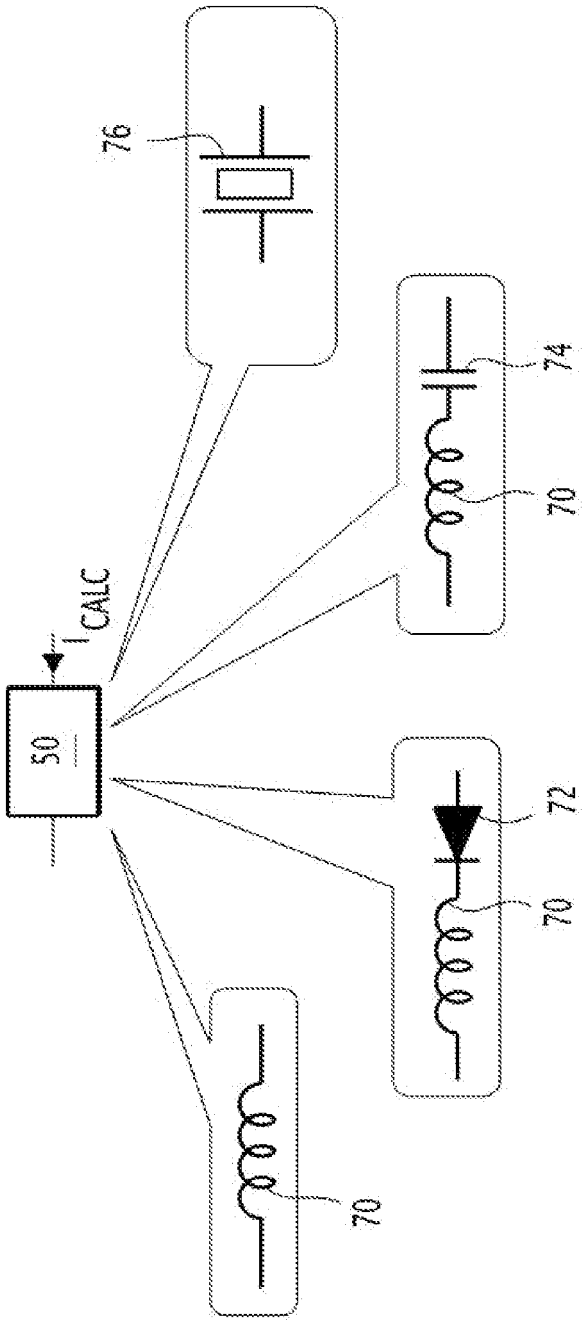
[Fig. 5]


40_1
40
42
44
22
30
32
34
24
12A
12B
15
16
18
28
36
36A
36B
38
38A
38B
46
46A
46B
48
48A
48B
40_2
V_{outp1}
V_{outn1}
V_{out_1}
V_{outp2}
V_{outn2}
V_{out_2}
V_{inp}
V_{inn}
V_{in}
V_{pa}
V_{pa1}
V_{pa2}
V_{pb_1}
V_{pb_2}
$V_{pb1,1}$
$V_{pb2,1}$
$V_{pb1,2}$
$V_{pb2,2}$
$V_{p_1,1}$
$V_{p_1,2}$
$V_{p_2,1}$
$V_{p_2,2}$
I_{p1}
I_{p2}
1/2 .Vp_1
1/2 .Vp_2
K_1
K_2
K_3
K_4
K_5
K_6
K_7
K_8
K_9

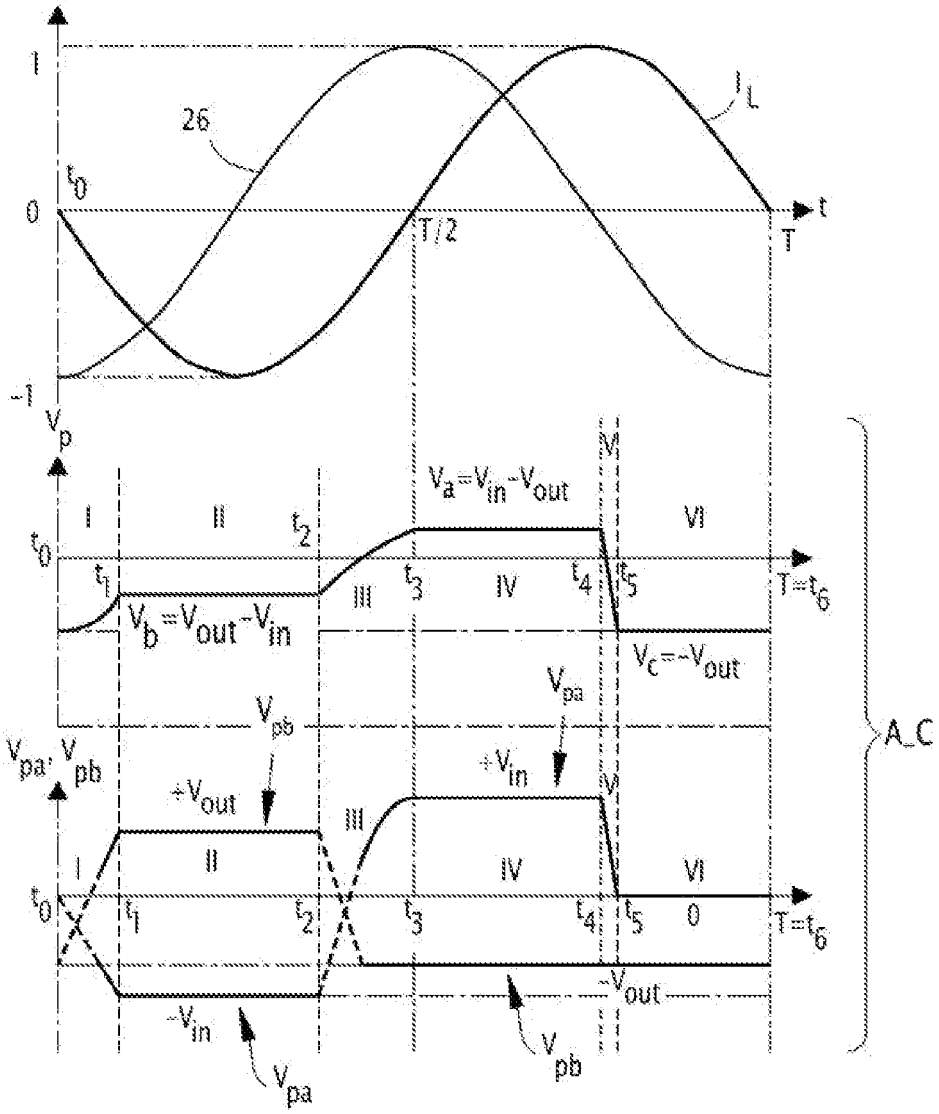
[Fig. 6]


10
44
V_{outp}
22
V_{out}
V_{outn}
44
46
48B
48
V_{pb2}
46
K_4
K_3
40
48A
V_{pb}
50
18
I_{CALC}
42
46
48
V_{pb1}
K_2
K_1
46
18
I_p
V_{pb}
12B
Vp1
Vp2
12A
36
15
16
V_{pa}
38
38B
36
K_8
K_7
V_{pa2}
32
30
38A
V_{pa}
K_9
28
32
36
38
16
K_6
K_5
36
V_{pa1}
24
34
34
V_{inp}
V_{in}
V_{inn}

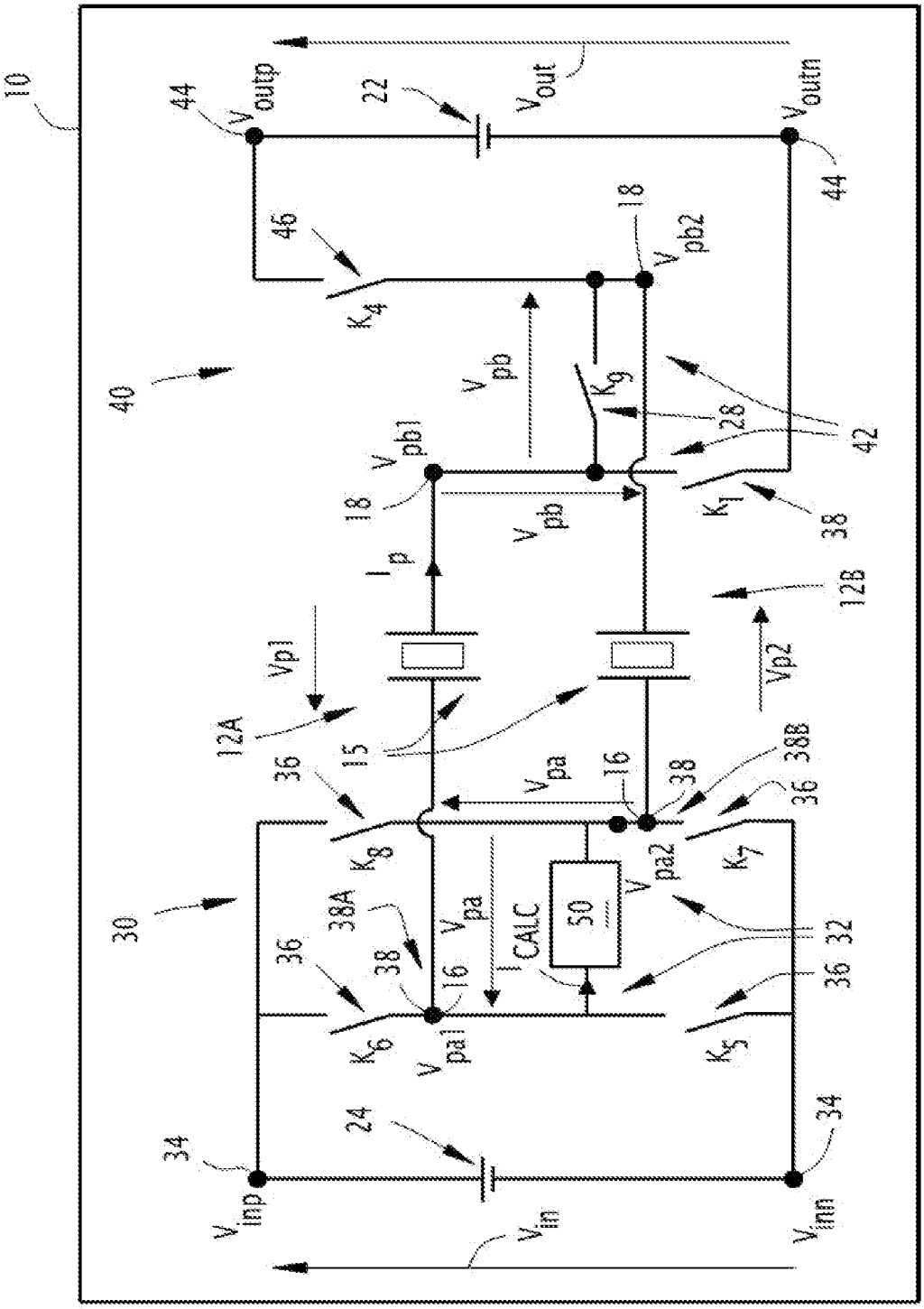
[Fig. 7]



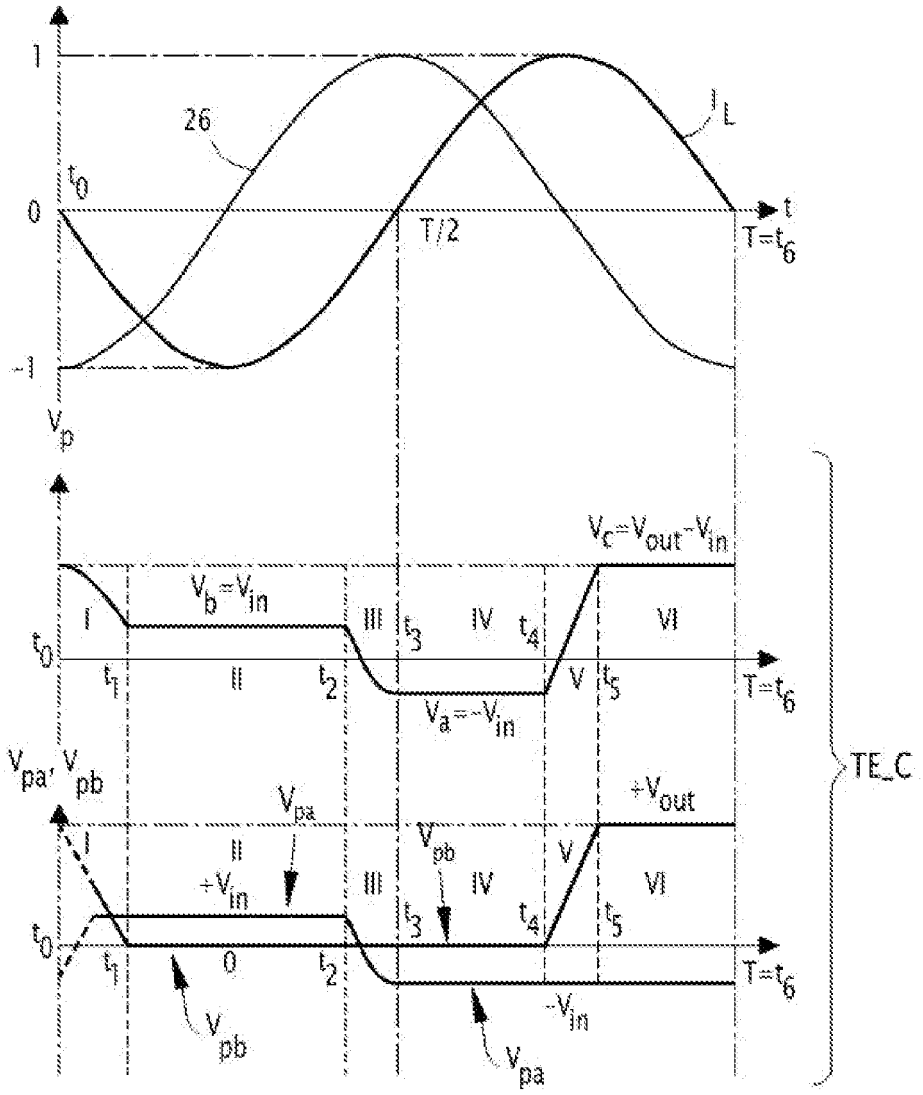
[Fig. 8]


1
0
-1
26
t_0
t
T/2
T
I_L
V_p
I
II
III
IV
V
VI
t_1
t_2
t_3
t_4
t_5
$T=t_6$
$V_a=V_{in}-V_{out}$
$V_b=V_{out}-V_{in}$
$V_c=-V_{out}$
V_{pa}
V_{pb}
V_{pa}, V_{pb}
$+V_{out}$
$+V_{in}$
0
$-V_{out}$
$-V_{in}$
A_C

[Fig. 9]


10
44
V_{outp}
22
V_{out}
V_{outn}
44
46
K_4
18
V_{pb2}
40
V_{pb}
K_9
28
42
V_{pb1}
18
V_{pb}
K_1
38
I_p
12B
Vp1
Vp2
12A
15
36
V_{pa}
16
38
38B
36
K_8
K_7
30
38A
V_{pa}
V_{pa2}
50
I_{CALC}
36
38
16
32
36
V_{pa1}
K_6
K_5
34
24
34
V_{inp}
V_{in}
V_{inn}

[Fig. 10]


1
0
-1
26
t_0
t
T/2
T=t_6
I_L
V_p
V_c=V_{out}-V_{in}
V_b=V_{in}
I
II
III
IV
V
VI
t_1
t_2
t_3
t_4
t_5
V_a=-V_{in}
V_{pa}, V_{pb}
V_{pa}
V_{pb}
+V_{out}
+V_{in}
0
-V_{in}
TE_C

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 900881
FR 2112933

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	Pollet Benjamin: "Convertisseurs DC-DC piézoélectrique avec stockage provisoire d'énergie sous forme mécanique", , 15 novembre 2019 (2019-11-15), pages 1-169, XP055862319, Extrait de l'Internet: URL:https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02415837/document [extrait le 2021-11-16]	1,2,7-18	H02M1/00 H02M1/088
Y	* page 123 - page 127; figures 4.15, 4.17,	3	
A	4.18, 4.19 * * page 27; figure 1.13 * * page 31 - page 32; figure 1.18 *	4-6	

Y	US 2017/012556 A1 (JEONG IN WHA [KR] ET AL) 12 janvier 2017 (2017-01-12) * alinéa [0042] - alinéa [0052]; figure 1 *	3	

A	US 2013/169198 A1 (WEI TAO-CHIN [TW] ET AL) 4 juillet 2013 (2013-07-04) * alinéa [0021] - alinéa [0023]; figures 1-6 * * alinéa [0045] *	4-6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02M

A	CN 102 522 492 A (GUANGZHOU MORNSUN SCI & TECH) 27 juin 2012 (2012-06-27) * le document en entier *	1-18	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
4 juillet 2022	Roussel, Maxime

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2112933 FA 900881

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 **04-07-2022**
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 2017012556 A1	12-01-2017	KR 20170006736 A	18-01-2017
		US 2017012556 A1	12-01-2017
US 2013169198 A1	04-07-2013	AU 2012268788 A1	18-07-2013
		BR 102012033419 A2	29-10-2013
		CA 2801765 A1	30-06-2013
		CN 103187897 A	03-07-2013
		EP 2611015 A1	03-07-2013
		JP 5774577 B2	09-09-2015
		JP 2013141389 A	18-07-2013
		KR 20130079239 A	10-07-2013
		RU 2012158056 A	10-07-2014
		TW 201327955 A	01-07-2013
		US 2013169198 A1	04-07-2013
		ZA 201209754 B	25-09-2013
CN 102522492 A	27-06-2012	AUCUN	

EPO FORM P0465