

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 27.05.92.

③0 Priorité : 30.05.91 US 707729.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 04.12.92 Bulletin 92/49.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Le rapport de recherche n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite: GENERAL ELECTRIC COMPANY — US.

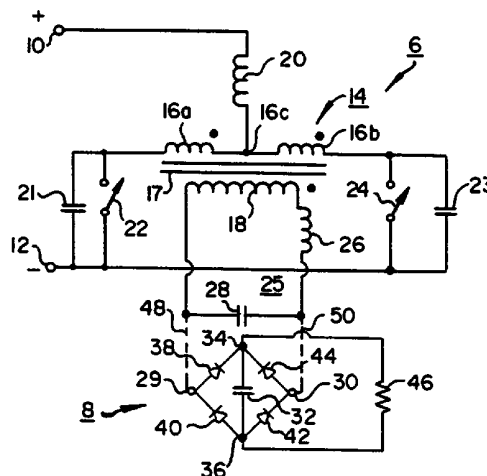
⑦2 Inventeur(s) : Mentler Sandor.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Bureau D.A. Casalonga-Josse.

⑤4 Convertisseur de puissance pouvant fonctionner en continu dans des modes survolteur et dévolteur.

⑤7 Ce convertisseur de puissance continu-alternatif comprend un transformateur (14) avec un enroulement secondaire (18) et un enroulement primaire (16a-16b) à prise centrale (16c) connectée à un pôle de la source de courant continu, et chaque extrémité de l'enroulement primaire est connectée à l'autre pôle de la source par un interrupteur (22, 24). Les interrupteurs sont commandés dans un mode à cycle d'utilisation de 50 %, un mode dans lequel les deux interrupteurs sont fermés simultanément, et/ou un mode dans lequel les deux interrupteurs sont périodiquement ouverts simultanément. L'état de fermeture des deux interrupteurs court-circuite le transformateur, et davantage de courant circule donc à travers un moyen inductif (20), ce qui élève la tension transformée au-dessus de celle du mode à cycle d'utilisation de 50 %. Le mode d'ouverture des deux interrupteurs réduit le courant dans l'inducteur et abaisse la tension transformée. La valeur de chevauchement de fermeture et d'ouverture des deux interrupteurs commande la tension de sortie. Un redresseur (8) peut être connecté à l'enroulement secondaire pour convertir la tension de sortie ca en cc.



CONVERTISSEUR DE PUISSANCE POUVANT FONCTIONNER EN
CONTINU DANS DES MODES SURVOLTEUR ET DEVOLTEUR

Cette invention concerne des convertisseurs de
puissance continu-alternatif et des convertisseurs de
5 puissance continu-continu dans lesquels le fonctionne-
ment peut passer continuellement par des modes de fonc-
tionnement survolteur et dévolteur en réponse à diffé-
rentes combinaisons de courant ou de tension d'entrée et
de sortie.

10 Les applications telles que celles rencontrées dans
les engins spatiaux demandent que les convertisseurs de
courant continu destinés à convertir une tension de bat-
terie en une tension de charge ou de barres omnibus
soient légers, très fiables, et très puissants. On con-
15 naît d'innombrables méthodes de conversion de puissance,
leur nombre étant tel qu'il est difficile de déterminer
le meilleur système de fonctionnement. Parmi les problè-
mes liés au fonctionnement des engins spatiaux, on
compte la grande variabilité de la tension continue pro-
20 duite du fait des variations dans la production d'élec-
tricité des piles solaires, et de la grande variation de
la charge électrique qui doit être alimentée. D'autres
problèmes comprennent la quantité relativement faible
d'énergie qui est fournie par les batteries, piles
25 solaires et équivalents, qui peut aller de quelques cen-

taines à quelques milliers de watts dans l'état actuel de la technique, et la difficulté à éliminer la chaleur, ce qui demande une grande puissance pour réduire le développement de chaleur.

5 Un convertisseur de puissance convertit une tension continue en une tension alternative. Le convertisseur de puissance comprend un transformateur avec un enroulement primaire à prise centrale et un enroulement secondaire. Un premier moyen inductif est connecté de la prise cen-
10 trale à un premier pôle de la source de tension continue. Des premier et second interrupteurs commandables sont connectés aux extrémités des deux moitiés de l'enroulement primaire à prise centrale, à l'opposé de la prise, et à l'autre pôle de la source de tension con-
15 tinue. Pendant les intervalles au cours desquels l'un ou l'autre des interrupteurs est conducteur, le courant circule à travers le premier moyen inductif et la première moitié de l'enroulement primaire pour engendrer une tension aux bornes du second enroulement. Pendant
20 les intervalles au cours desquels les deux interrupteurs ne sont pas conducteurs, la circulation de courant à travers le moyen inductif est sensiblement nulle et la circulation de courant dans l'enroulement primaire est due à des circuits résonants. Pendant les intervalles au
25 cours desquels les deux interrupteurs sont conducteurs, l'enroulement primaire est court-circuité, grâce à quoi la tension continue toute entière est appliquée aux bornes du moyen inductif. Un moyen capacitif et un second moyen inductif sont connectés en série pour former un
30 circuit série, et le circuit série est connecté aux bornes de l'enroulement secondaire pour former un trajet pour la circulation du courant. Du fait de la circulation de courant alternatif à travers le circuit série, une tension est engendrée aux bornes du moyen capacitif
35 qui représente la tension de sortie alternative du con-

vertisseur. Un moyen redresseur peut être connecté aux bornes du moyen capacitif pour redresser la tension alternative de manière à produire une tension de sortie continue, grâce à quoi l'appareil est un convertisseur continu-continu. Un moyen de commande est connecté aux interrupteurs pour les faire fonctionner de façon cyclique dans l'un des premier, second et troisièmes modes de fonctionnement. Pendant chaque cycle de fonctionnement, chaque interrupteur a une période de conduction et une période d'absence de conduction. Dans le cas du premier mode de fonctionnement, les périodes de conduction et d'absence de conduction de chaque interrupteur ont une durée égale, grâce à quoi les premier et second interrupteurs établissent une conduction de façon alternée et le courant circule continuellement à travers le premier moyen inductif. Dans le cas du second mode de fonctionnement, les périodes de conduction des deux interrupteurs ont une durée plus grande que les périodes d'absence de conduction, grâce à quoi les périodes de conduction de chacun des interrupteurs alternent avec des périodes de conduction des deux interrupteurs, ce qui court-circuite l'enroulement primaire de manière à tendre ainsi à augmenter la circulation de courant à travers le premier moyen inductif. L'augmentation de courant entraîne une tension alternative produite aux bornes d'un enroulement secondaire qui tend à être supérieure à celle du premier mode de fonctionnement, pour la même tension d'entrée continue. Dans le cas du troisième mode de fonctionnement, les périodes d'absence de conduction de chaque interrupteur ont une durée plus grande que les périodes de conduction, grâce à quoi les périodes de conduction de chacun des premier et second interrupteurs alternent avec des périodes d'absence de conduction des deux interrupteurs, ce qui ouvre le circuit de l'enroulement primaire de manière à tendre ainsi

à diminuer la circulation du courant à travers le premier moyen inductif. La diminution de courant entraîne une diminution de la tension aux bornes de l'enroulement secondaire pour la même tension d'entrée continue. Dans
5 un mode de réalisation particulier de l'invention, un moyen redresseur tel qu'un circuit en pont est connecté aux bornes du moyen capacitif pour redresser la tension alternative de manière à produire une tension de sortie continue. Dans un autre mode de réalisation de l'inven-
10 tion, l'un ou l'autre du second moyen inductif ou du second moyen capacitif, ou les deux, sont constitués par des impédances de fuite ou de dispersion. Dans un mode de réalisation de l'invention, on peut faire varier ou régler la tension de sortie en commandant la fréquence
15 de fonctionnement ou la fréquence de répétition dans le second ou le troisième mode de fonctionnement.

On va maintenant décrire la présente invention en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

la Figure 1 est un schéma simplifié d'un convertisseur continu-alternatif selon l'invention, avec un circuit additionnel pour former un convertisseur continu-continu ;
20

la Figure 2 est un schéma simplifié d'un dispositif similaire à celui de la Figure 1, comprenant un moyen pour renvoyer l'énergie à la source de tension continue pendant certains intervalles ;
25

les Figures 3a-3n et 4a-4k sont des tracés idéaux de la tension ou du courant en fonction du temps en divers emplacements des dispositifs des Figures 1 ou 2
30 dans divers modes de fonctionnement, les Figures 3a-3n et 4a-4k désignant ensemble les Figures 3 et 4, respectivement ;

la Figure 5 est un schéma simplifié d'un autre mode de réalisation de l'invention ;

35 la Figure 6 illustre sous forme schématique simpli-

fiée un autre mode de réalisation de l'invention ;

les Figures 7a à 7m, 8a à 8m, et 9a à 9m sont des tracés de la tension et du courant qui se produisent dans le dispositif de la Figure 6 dans les modes à cycle
5 d'utilisation de 50 %, survolteur et dévolteur, respectivement ;

la Figure 10 est un schéma fonctionnel simplifié d'un moyen de commande adapté pour commander les interrupteurs des dispositifs des Figures 1, 3, 5 ou 6 selon
10 l'invention ; et

les Figures 11a et 11b sont des élévations de transformateurs avec des noyaux en U-I, avec des enroulements disposés pour former une inductance de fuite, et la Figure 11c illustre un circuit équivalent.

15 En général, les convertisseurs de puissance selon l'invention présentent une grande efficacité grâce à l'utilisation de circuits résonants, qui peuvent comprendre des réactances parasites, et sont également légers et très fiables grâce à l'utilisation de seulement deux interrupteurs à semi-conducteurs. Sur la
20 Figure 1, les bornes ou pôles positif (+) et négatif (-) 10 et 12, respectivement, d'une source de tension continue (non illustrée) sont connectés à un convertisseur continu-alternatif désigné de manière générale en 6. Le
25 convertisseur 6 comprend un transformateur désigné de façon générale en 14 qui à son tour comprend un enroulement primaire comportant des parties 16a et 16b avec une prise 16c connectée entre elles et qui comprend également un enroulement secondaire 18 couplé par un noyau
30 magnétique 17 à l'enroulement primaire.

Un moyen inductif ou enroulement 20 de la Figure 1 connecte le pôle positif 10 à la prise centrale 16c. Un interrupteur commandable 22 illustré par un symbole d'interrupteur mécanique connecte l'extrémité de la partie
35 tie 16a de l'enroulement primaire opposée à la prise

centrale 16c, au pôle négatif 12. Un moyen capacitif ou condensateur 21 représente la capacité inhérente de l'interrupteur 22, ou la combinaison de la capacité inhérente complétée par un moyen capacitif réel ou condensateur. De manière similaire, un interrupteur commandable 24 connecte l'extrémité de l'enroulement primaire 16b, opposée à la prise centrale 16c, au pôle 12, et 23 représente la capacité inhérente de l'interrupteur 24 qui peut être complétée par un moyen capacitif réel ou condensateur. Ainsi, les interrupteurs 22 et 24 peuvent être considérés comme la partie "idéale" des interrupteurs qui comprennent effectivement une capacité. Les spécialistes de la technique savent que des interrupteurs commandables tels que 22 et 24 sont avantageusement réalisés comme composants semi-conducteurs tels que des transistors bipolaires ou à effet de champ. Ces transistors, lorsqu'ils sont utilisés comme interrupteurs, peuvent malheureusement dissiper la puissance pendant l'ouverture ou la fermeture si un courant important circule alors qu'une tension apparaît à leurs bornes, ce qui réduit le rendement.

L'enroulement secondaire 18 de la Figure 1 est couplé à un circuit série, désigné de façon générale en 25, qui comprend un moyen inductif 26 connecté en série avec un moyen capacitif 28. Tandis que le moyen inductif 26 et le moyen capacitif 28 peuvent être répartis à travers le transformateur 14, on peut également utiliser un moyen capacitif ou inductif physique. Comme décrit ci-après, le fonctionnement des interrupteurs 22 et 24 entraîne la production d'une tension alternative aux bornes de l'enroulement secondaire 18 qui, à son tour, engendre une circulation de courant alternatif à travers le circuit série 25. La circulation de courant alternatif engendre à son tour une tension alternative aux bornes du moyen capacitif 28 qui est la tension de sor-

tie alternative souhaitée du convertisseur continu-alternatif 6.

Comme décrit jusqu'ici, le convertisseur 6 de la Figure 1 convertit la tension continue apparaissant aux pôles 10 et 12 en tension alternative aux bornes du moyen capacitif 28. Les spécialistes de la technique savent que la connexion d'un moyen redresseur tel que celui désigné de façon générale en 8 sur la Figure 1 peut convertir la tension alternative à la sortie du convertisseur 6 en une tension continue, grâce à quoi la structure de la Figure 1 est un convertisseur continu-continu. Sur la Figure 1, le moyen redresseur 8 comprend un montage en pont avec des noeuds 29 et 30 qui sont adaptés pour être connectés aux bornes du moyen capacitif 28, comme suggéré par les lignes de connexion en tirets 48 et 50. Le moyen redresseur 8 comprend également une paire de bornes de sortie 34 et 36 auxquelles une charge peut être connectée, comme suggéré par la résistance 46. Les cathodes des diodes de redressement 38 et 44 sont connectées à la borne de sortie 34, et leurs anodes sont connectées aux bornes d'entrée 29 et 30, respectivement. Les anodes des diodes de redressement 40 et 42 sont connectées à la borne de sortie 36 du moyen redresseur 8, et leurs cathodes sont connectées aux bornes d'entrée 29 et 30, respectivement. La tension alternative apparaissant aux bornes du moyen capacitif 28 polarise en sens direct de façon alternée les paires de diodes 38, 42 ; 40, 44 pour créer ainsi un courant pulsé. Un moyen capacitif 32 est connecté entre les bornes de sortie 34 et 36 du moyen redresseur 8 pour convertir le courant pulsé en une tension de sortie continue égalisée pouvant exciter la charge 46. Ainsi, la tension continue aux bornes de la charge 6 est la sortie souhaitée du convertisseur continu-continu.

La Figure 2 illustre une version modifiée du dispo-

sitif de la Figure 1. Bien qu'un moyen redresseur 8 ne soit pas illustré sur la Figure 2, on comprendra que l'on peut en utiliser un, sans modification importante des principes de fonctionnement. Les éléments de la

5 Figure 2 correspondant à ceux de la Figure 1 sont désignés par les mêmes numéros de référence. Sur la Figure 2, l'enroulement 20 est l'enroulement primaire d'un transformateur 220, qui comprend également un enroulement secondaire 222, ayant une polarité comme illustré

10 par la notation classique pointée. L'inductance de l'enroulement 20 de la Figure 2 qui correspond à l'inductance du moyen inductif 20 de la Figure 1 est fournie par l'inductance magnétique du transformateur 220 de la Figure 2. L'extrémité pointée de l'enroulement

15 222 est connectée au pôle 12 de la source de tension continue (non illustrée), et l'autre extrémité de l'enroulement 222 est connectée, par le circuit anode-cathode d'un dispositif de conduction unidirectionnelle illustré sous forme d'une diode ou un redresseur 224, au

20 pôle 10. La capacité de l'interrupteur n'est pas illustrée sur la Figure 2, bien qu'elle soit présente, et peut être complétée comme mentionné ci-dessus.

Comme décrit en détail ci-après, les dispositifs des Figures 1 et 2 fonctionnent à fréquence variable

25 dans l'un de deux modes de fonctionnement, ou à fréquence constante dans l'un de trois modes de fonctionnement. Dans le premier mode de fonctionnement à "cycle d'utilisation de 50 %", la tension d'entrée continue, multipliée par le rapport des nombres de tours du secondaire et du primaire $N2/N1$, est égale approximativement

30 à la tension de crête aux bornes du moyen capacitif 28. Dans ce mode de fonctionnement, ni un fonctionnement survolteur ni un fonctionnement dévolteur n'est nécessaire, et les périodes de conduction ou de fermeture des

35 interrupteurs 22 et 24 ont une durée égale et alternent

sans périodes intermédiaires au cours desquelles les deux interrupteurs sont dans le même état de conduction. Le fonctionnement des interrupteurs 22 et 24 des Figures 1 ou 2 dans le premier mode de fonctionnement est illustré sur les Figures 3a, b, c et d. Un cycle complet de fonctionnement est représenté par un intervalle s'étendant du temps T_0 jusqu'au temps T_0 suivant (T_0 - T_0). Un demi-cycle de fonctionnement, correspondant au temps de fermeture d'un interrupteur, est T_0 - T_{11} ou T_{11} - T_0 . Les spécialistes de la technique savent que, bien qu'un seul cycle complet de fonctionnement soit illustré, le fonctionnement est continu pendant des cycles récurrents.

Les formes d'onde des Figures 3a à 3j représentent le fonctionnement du dispositif de la Figure 2 dans le premier mode de fonctionnement (cycle d'utilisation de 50 %, ni survolteur ni dévolteur) qui a des durées de fermeture d'interrupteur égales, alternantes. En conséquence, au moment où un interrupteur s'ouvre (devient non conducteur), l'autre se ferme (devient conducteur), et le nombre d'ampère-tours dans le transformateur 220 est essentiellement constant.

Sur la Figure 3, aux temps T_0 , l'interrupteur 22 est rendu non conducteur (s'ouvre) et l'interrupteur 24 est rendu conducteur (se ferme), si bien que la tension aux bornes de l'interrupteur 22 (V_{22}) s'accroît, comme illustré au temps T_0 par le tracé 322 de la Figure 3a. Le tracé 352 de la Figure 3b représente la circulation de courant à travers l'interrupteur 22 (I_{22}) de la Figure 2. Comme illustré sur la Figure 3b, la circulation de courant à travers l'interrupteur 22 s'abaisse à zéro au temps T_0 . Le tracé 324 de la Figure 3c représente la tension aux bornes de l'interrupteur 24 de la Figure 2 (V_{24}), et le tracé 354 de la Figure 3d représente le courant à travers l'interrupteur 24 (I_{24}). Au temps T_0 , l'état fermé de l'interrupteur 24 fait chuter

la tension V_{24} à zéro, comme illustré par le tracé 324 de la Figure 3c. L'interrupteur 24 porte un courant fini au temps T_0 , comme illustré par le tracé 254 de la Figure 3d. La circulation de courant dans l'interrupteur

5 24 au temps T_0 est égale au courant circulant alors dans le moyen inductif 20, comme représenté en comparant le tracé 354 de la Figure 3d avec le tracé 356 de la Figure 3e. Les polarités illustrées résultent des polarités de référence sélectionnées et sont quelque peu arbitraires.

10 L'accroissement essentiellement instantané de tension du tracé 322 au temps T_0 suppose que la capacité de l'interrupteur est faible. Le tracé correspondant 322a de la Figure 3k représente la tension lorsque la capacité de l'interrupteur est grande, ou est augmentée par

15 un condensateur externe, tel que le condensateur 21 de la Figure 1. L'ouverture de l'interrupteur 22 et la fermeture de l'interrupteur 24 de la Figure 2 au temps T_0 tendent à inverser la tension engendrée aux bornes de l'enroulement secondaire 18 du transformateur 14, ce qui

20 tend à opposer et à inverser le sens de circulation du courant dans le moyen inductif 26. Le courant à travers le moyen inductif 26 est similaire au courant à travers l'enroulement secondaire 18, et est illustré en 362 sur la Figure 3h. Le courant circulant dans le moyen induc-

25 tif 26 au temps T_0 ne peut pas être inversé instantanément par l'inversion de la tension aux bornes de l'enroulement secondaire 18. Au lieu de cela, le courant décroît vers zéro dans l'intervalle T_0-T_1 , comme illustré par le tracé 362 de la Figure 3h. Cette chute de

30 courant entraîne une chute de courant dans l'interrupteur conducteur 24, comme illustré par le tracé 354 de la Figure 3d dans l'intervalle T_0-T_1 .

Pendant l'intervalle de temps T_0-T_1 au cours duquel le courant dans l'inducteur 26 de la Figure 2 chute, le

35 courant renvoyé à l'enroulement primaire 16 du transfor-

mateur 14 circule depuis le noeud 12 à travers l'interrupteur 24 dans l'extrémité 16b et sort par la prise centrale 16c. Avec l'interrupteur 22 ouvert, le courant du moyen inductif 26 renvoyé à l'enroulement primaire 16
5 doit circuler à travers l'enroulement 20 et revenir au noeud 10 de la source. Le nombre d'ampère-tours net des enroulements 20 et 222 ne peut pas changer instantanément dans l'intervalle T0-T3, et la diode 224 est donc polarisée en sens direct et conduit le courant, ce qui
10 permet à une partie de l'énergie stockée dans le moyen inductif 26 d'être renvoyée à la source. La circulation de courant à travers le circuit série de l'enroulement 222 et la diode 224 est illustrée par le tracé 358 de la Figure 3f.

15 Pendant l'intervalle de temps T1-T3, avec la diode 224 polarisée en sens direct, le transformateur 220 de la Figure 2 a essentiellement la tension d'alimentation continue (moins la chute de tension de la diode) à ses bornes, et cette tension est transférée à l'enroulement
20 primaire 20 comme fonction du rapport des nombres de tours des enroulements 20 et 222. La tension aux bornes du moyen inductif 20 est ajoutée à la tension de la source dans l'intervalle T0-T3, si bien que la tension à la prise 16c (V16) dépasse la tension de la source,
25 comme illustré par le tracé 360 de la Figure 3g. La haute tension résultante au noeud 16 est illustrée par le tracé 360 de la Figure 3g. Egalement dans l'intervalle T1-T3, le courant à travers le moyen inductif 26 de la Figure 2 s'inverse et se stabilise vers une valeur
30 permanente à court terme, comme suggéré par le tracé 362 de la Figure 3h.

Au temps T2, l'énergie précédemment stockée dans le moyen inductif 26 de la Figure 2 atteint zéro puisqu'elle est partiellement renvoyée à la source au moyen
35 du transformateur 220, de la diode 224, et du noeud 10,

et partiellement transférée à la charge 46. Au temps T3, le moyen inductif 26 stocke à nouveau l'énergie qui lui est transférée par la source 10 par l'intermédiaire du moyen inductif 20, des enroulements 16c-16b du transformateur 14 et de l'interrupteur 24. A ce moment, la diode 224 devient non conductrice. Avec la diode 224 non conductrice, l'enroulement 222 est découplé de la source, et aucune autre tension n'est couplée au moyen inductif 20. Par conséquent, la tension à la prise 16c chute à la tension d'alimentation au temps T3, comme illustré par le tracé 360 de la Figure 3g. La tension aux bornes de l'interrupteur ouvert 22 subit également une chute, comme illustré au temps T3 sur le tracé 322 de la Figure 3a.

Dans l'intervalle entre les temps T3 et T11, l'interrupteur 24 reste fermé et l'interrupteur 22 reste ouvert. L'interrupteur 24 conduit un courant sensiblement constant pendant cet intervalle, comme illustré par la forme d'onde 354 de la Figure 3d. Le courant à travers l'interrupteur 24 est égal au courant à travers le moyen inductif 20, ce qui est illustré par le tracé 356 de la Figure 3e. Le courant sensiblement constant à travers l'inducteur 20 dans l'intervalle T3-T11 résulte de la chute de tension proche de zéro aux bornes du moyen inductif, et la tension à la prise centrale 16c est donc sensiblement égale à la tension au noeud 10, comme illustré par le tracé 360 de la Figure 3g. La tension sensiblement constante aux bornes de l'enroulement 16b dans l'intervalle T3-T11, provenant de la tension sensiblement constante à la prise 16c et de l'état fermé de l'interrupteur 24, résulte en un courant à travers l'enroulement 16b et à travers la charge 46, comme illustré par les tracés 362 et 366 des Figures 3h et 3j, respectivement, et en tension transformée constante aux bornes de l'enroulement secondaire 18. Comme la tension

secondaire est constante dans l'intervalle T3-T11, aucun courant ne tend à circuler dans le moyen capacitif 28, comme illustré par le tracé 364 de la Figure 3i.

5 Au temps T11, l'interrupteur 24 de la Figure 2 s'ouvre et l'interrupteur 22 se ferme. La tension aux bornes de l'interrupteur 22 chute à zéro environ au temps T11, comme illustré par le tracé 322 de la Figure 3a. L'application de tension aux bornes de l'enroulement primaire 16a tend à nouveau à inverser la tension aux
10 bornes de l'enroulement secondaire 18 de la Figure 2, et cette tension inversée tend à réduire à zéro le courant dans le moyen inductif 26, et à entraîner une circulation de courant dans le sens opposé. L'énergie stockée dans le moyen inductif 26 résonne avec le moyen capaci-
15 tif 28, ce qui entraîne une circulation de courant résonant qui est transférée à l'enroulement primaire 16a. L'interrupteur 22 porte un demi-cycle de la circulation de courant résonant dans l'intervalle T11-T15, et au temps 15 atteint un état stable à court terme. Egale-
20 ment, dans l'intervalle T11-T15, l'énergie est renvoyée à la source par le moyen inductif 20, l'enroulement 222, la diode 224 et le noeud 10. Cela résulte en une tension aux bornes du moyen inductif 20 qui est ajoutée à la tension au noeud 10, si bien que la tension à la prise
25 16c, et aux bornes de l'interrupteur ouvert 24, est supérieure à la tension de la source, comme illustré par le tracé 324 de la Figure 3c dans l'intervalle T11-T15. Dans l'intervalle T15-T0, le courant à travers l'enroulement secondaire 18 et le moyen inductif 26 se trouve
30 dans un sens opposé au courant conduit dans l'intervalle T3-T11. Au temps T0, l'interrupteur 22 s'ouvre et l'interrupteur 24 se ferme, et l'état du circuit est le même qu'au temps T0 précédent, prêt pour qu'un autre cycle de fonctionnement commence. Comme décrit en rela-
35 tion avec la Figure 3, le dispositif de la Figure 2

fonctionne dans un premier mode dans lequel la conduction des interrupteurs a un cycle de fonctionnement de 50 % et alterne, sans qu'interviennent des périodes de conduction ou d'absence de conduction simultanées des interrupteurs.

Comme mentionné, la présence de capacité additionnelle aux bornes des interrupteurs 22 et 24, par exemple en utilisant des interrupteurs à haute capacité ou en leur ajoutant des condensateurs additionnels, augmente les temps de croissance des tensions aux bornes des interrupteurs de l'une ou l'autre des Figures 1 ou 2, comme on peut l'observer en comparant la forme d'onde 322a de la Figure 3k avec la forme d'onde 322 de la Figure 3a. Cela affecte également le courant d'interrupteur près du temps auquel l'interrupteur commence à être conducteur, si l'on compare le tracé 352a de la Figure 3m dans l'intervalle de temps T11-T13 avec la partie correspondante du tracé 352 de la Figure 3b. Le courant dans le condensateur additionnel, correspondant au moyen capacitif 21 de la Figure 1, et allant en parallèle avec l'interrupteur 22 de la Figure 2, est illustré par le tracé 368 de la Figure 3n.

Le mode survolteur de fonctionnement du dispositif de la Figure 2 est représenté par les Figures 4a-4k. Dans le mode survolteur de fonctionnement, la tension de sortie souhaitée aux bornes du moyen capacitif 28, et donc aux bornes de l'enroulement secondaire 18, est supérieure à la tension d'entrée continue existante appliquée par la source extérieure aux bornes 10 et 12, multipliée par le rapport établi par le nombre de tours de l'enroulement secondaire 18 divisé par le nombre de tours de l'enroulement primaire 16a ou 16b. Les formes d'onde de la Figure 4 sont obtenues lorsque les paramètres du circuit de la Figure 4 sont sélectionnés en relation avec les fréquences de fonctionnement et les

durées de cycle, de telle sorte que l'intervalle de chevauchement (T_6-T_{12} ; $T_{16}-T_0$) représente trois demi-cycles de résonance du réseau LC constitué par le moyen inductif 26 et le moyen capacitif 28. De même, les Figures 4i, 4j et 4k sont celles rencontrées lorsqu'on utilise un dispositif redresseur tel que 8, avec un condensateur de lissage tel que 32, comme sur la Figure 1.

La Figure 4a représente par un tracé 422 la tension aux bornes de l'interrupteur 22 de la Figure 2, avec l'état de tension zéro s'étendant du temps T_6 au temps T_0 suivant, ce qui représente les temps pendant lesquels l'interrupteur est commandé pour conduire dans le mode survolteur, et les temps T_0-T_6 étant ceux pendant lesquels l'interrupteur 22 est commandé pour être non conducteur ou ouvert. Le tracé 352 de la Figure 4b représente le courant à travers l'interrupteur 22 du fait de son interaction avec le reste du circuit. Pendant les intervalles d'ouverture T_0-T_6 , la circulation de courant à travers celui-ci est nulle. Le tracé 424 de la Figure 4c représente la tension aux bornes de l'interrupteur 24 de la Figure 2 pendant le fonctionnement dans le mode survolteur. Comme illustré, la période de conduction s'étend du temps T_0 au temps T_{12} , et la période d'absence de conduction s'étend du temps T_{12} au temps T_0 suivant. La circulation de courant à travers l'interrupteur 24 est représentée par le tracé 454 de la Figure 4d. Pendant l'intervalle T_6-T_{12} , les deux interrupteurs 22 et 24 sont conducteurs, comme indiqué par les parties de tension zéro des tracés 422 et 424 pendant cette période.

La conduction des deux interrupteurs 22 et 24 de la Figure 2 dans l'intervalle de temps T_6-T_{12} , comme illustré sur la Figure 4, court-circuite l'enroulement primaire 16, ce qui fait chuter l'impédance de l'enroulement jusqu'à près de zéro. Le tracé 460 de la Figure 4g

illustre la tension à la prise 16c. En raison du court-circuit, la prise centrale 16c est effectivement connectée au pôle 12 au moyen des enroulements en court-circuit 16a et 16b, et des interrupteurs fermés 22 et 24. L'enroulement 20 reçoit effectivement à ses bornes pendant l'intervalle de temps T_6 - T_{12} la pleine tension d'entrée continue (c'est-à-dire la tension appliquée par une source extérieure aux bornes 10 et 12). Cela entraîne à son tour une augmentation de l'intensité du courant à travers l'enroulement 20 pendant l'intervalle T_6 - T_{12} , comme illustré par le tracé 456 de la Figure 4e. Le courant à travers l'enroulement 20 continue d'augmenter, et une énergie additionnelle continue d'être stockée dans son moyen inductif, jusqu'à au temps T_{12} .

15 Au temps T_{12} , l'interrupteur 24 est commandé pour être non-conducteur, grâce à quoi l'enroulement primaire 16 n'est plus court-circuité. Lorsque l'interrupteur 24 s'ouvre au temps T_{12} , l'énergie stockée dans le moyen inductif associé à l'enroulement 20 agit pour inverser et augmenter la tension de l'enroulement dans une "opposition inductive" pour tenter de maintenir la circulation de courant, comme cela est bien connu dans la technique, mais le courant ne peut pas augmenter instantanément dans l'enroulement primaire 16a en raison de l'inductance du moyen inductif 26. Comme cela est également connu dans la technique, l'énergie associée à l'enroulement 20 produit une tension aux bornes de l'enroulement 222 du transformateur 220 qui polarise en sens direct la diode 224, et une certaine quantité de l'énergie de l'enroulement 20 est renvoyée à la source de tension continue connectée aux pôles 10 et 12. Cependant, la plus grande partie de l'excès d'énergie se manifeste par une tension aux bornes de l'enroulement primaire 16a pendant l'intervalle T_{12} - T_0 suivant, cette tension étant supérieure à la tension de la source. En

conséquence, la tension continue appliquée aux bornes de l'enroulement primaire 16a est "survoltée" après le temps T12 par l'énergie stockée dans l'enroulement 20 pendant la période T6-T12 au cours de laquelle les deux interrupteurs 22 et 24 sont conducteurs. En raison de la montée de tension aux bornes de l'enroulement 16a pendant l'intervalle T12-T16, une tension transformée relativement plus grande est induite dans l'enroulement secondaire 18.

10 Le courant à travers l'enroulement secondaire 18 des Figures 1 ou 2 est illustré par le tracé 462 de la Figure 4h. Le tracé 464 de la Figure 4i représente la circulation de courant à travers le moyen capacitif 28 de la Figure 2. Comme mentionné ci-dessus, le moyen
15 capacitif 28 peut être en pratique constitué par la capacité entre enroulements du transformateur, et le moyen inductif 26 peut être formé par l'inductance de fuite, et en conséquence le courant illustré par le tracé 464 de la Figure 4i peut se trouver réparti à
20 l'intérieur du transformateur 14, et peut ne pas être accessible à un mesurage. Par conséquent, la partie du courant du transformateur représentée par le tracé 462 de la Figure 4h qui circule à travers le moyen capacitif 28, à savoir le courant 464 de la Figure 4i, ne peut
25 être utilisée pour être appliquée à la charge 46. A la place, seules les parties de courant relativement plates représentées par le tracé 462 dans les intervalles T0-T6 et T12-T16 servent directement à la charge. Il est à noter également que les résonances illustrées sur le
30 tracé 464 de la Figure 4i sont amorties lorsqu'il n'est pas utilisé de condensateur d'égalisation 32. Lorsqu'un condensateur d'égalisation 32 est présent, le courant de charge est constant, comme représenté par le tracé 466 de la Figure 4j. Par conséquent, le condensateur 32
35 fournit le courant de charge pendant les intervalles T6-

T12 et T16-T0, et est réalimenté pendant les intervalles T0-T4 et T12-T14, comme illustré par le tracé 468 de la Figure 4k.

Ainsi, le mode survolteur se produit lorsque les interrupteurs 22 et 24 deviennent conducteurs simultanément. Grâce à l'action résonante du moyen inductif 26 et du moyen capacitif 28 des Figures 1 et 2, les temps de montée et de descente des formes d'onde de tension et de courant augmentent ou ralentissent, ce qui résulte en de plus faibles pertes de puissance, et donc en un meilleur rendement, que dans les dispositifs de l'art antérieur sans ces résonances.

Les circuits des Figures 1 et 2 passent du mode symétrique au mode survolteur dès qu'un taux même faible de conduction simultanée des interrupteurs est commandé. La valeur de survoltage dépend de la durée relative de la période de conduction simultanée, si bien que, si la tension de sortie transformée tend à chuter, ou si la tension d'entrée continue tend à baisser, une réponse proportionnelle peut être faite par un dispositif de commande (décrit ci-après).

Cependant, il se peut que la tension de sortie transformée soit trop élevée, ou que la tension d'entrée continue soit excessive, dans quel cas un mode dévolteur de fonctionnement peut être désiré. De façon générale, dans le mode dévolteur de fonctionnement, le courant circulant dans le moyen inductif 26 des Figures 1 ou 2, renvoyé à l'enroulement primaire 16 du transformateur 14, rencontre un circuit ouvert si les deux interrupteurs idéaux 22 et 24 sont simultanément ouverts. Les interrupteurs pratiques ont une capacité inter-électrode inhérente, comme décrit ci-dessus. La capacité inter-électrode permet au courant de circuler dans l'enroulement primaire 16 d'une manière résonante lorsque l'interrupteur idéal est ouvert, et rend le troisième

mode ou mode dévolteur possible dans le dispositif des Figures 1 et 2. Cependant, la capacité inter-électrode seule peut être insuffisante pour permettre un large domaine de fonctionnement, c'est-à-dire que des tensions
5 fortement réduites et/ou une large fréquence de commande peuvent ne pas être possibles. Des moyens capacitifs additionnels de complément tels que 21 et 23 sur la Figure 1 peuvent augmenter le domaine de fonctionnement, mais tendent à entraîner une augmentation des pertes
10 pendant le fonctionnement (fermeture ou ouverture) des interrupteurs, ce qui peut ne pas être souhaitable. Les formes d'onde pour le mode dévolteur de fonctionnement du dispositif des Figures 1 ou 2 sont similaires à celles décrites ci-après en relation avec la Figure 9.

15 La Figure 5 représente un autre mode de réalisation de l'invention. Les éléments de la Figure 5 qui correspondent à ceux des Figures 1 ou 2 sont désignés par les mêmes numéros de référence. Sur la Figure 5, le transformateur 14 est bobiné de manière connue pour réduire
20 son induction magnétique, représentée en 26 sur les Figures 1 et 2. Ainsi, le dispositif de la Figure 5 a peu d'inductance en série avec ses enroulements secondaires 18. Un moyen inductif équivalent est connecté aux enroulements primaires 16a et 16b sous la forme d'un
25 ensemble de moyens inductifs couplés 526 comprenant des enroulements 526a, 526b, et 526c ; les enroulements sont couplés comme dans un transformateur, mais chaque enroulement agit comme un moyen inductif, et le noyau est ouvert pour empêcher la saturation. Un noeud 598 est
30 équivalent à la prise centrale 16c à certains effets. Si le courant circule depuis le moyen inductif 20 vers le noeud 598, se divise et circule de façon égale à travers les enroulements 526a et 526b, leur polarisation, indiquée par des points, est telle que les champs magnétiques s'annulent, et l'inductance devient effectivement
35

nulle. Cependant, si le courant circule seulement dans l'enroulement 526a ou 526b, ou s'il y a une différence d'intensité du courant, ou si les courants circulent à la fois dans 526a et 526b, l'inductance n'est pas annulée par rapport à la différence. L'enroulement 526c est
5 disposé de manière à renvoyer l'énergie à la source par l'intermédiaire d'un redresseur en pont 524. Le sens d'enroulement n'importe pas, car le redresseur en pont va connecter l'enroulement 526c à la source quelle que
10 soit la polarité de la tension. Lorsque l'un ou l'autre des interrupteurs 22 ou 24 s'ouvre, l'énergie stockée dans l'ensemble de moyens inductifs couplés 526 fait circuler le courant à travers l'enroulement 526c, le
15 redresseur en pont 524, et l'enroulement 222 en le ramenant à la source. A ces moments, la tension appliquée aux bornes de l'enroulement 526c est la tension de la source, moins la chute aux bornes du redresseur et la tension aux bornes de l'enroulement 222. Cette limitation de la tension maximale aux bornes de l'enroulement
20 526c limite la tension aux bornes des enroulements couplés 526a et 526b, et limite ainsi la tension apparaissant aux bornes des interrupteurs 22 ou 24 à l'ouverture.

Les éléments de la Figure 6 correspondant à ceux
25 des Figures 1 et 2 sont désignés par les mêmes numéros de référence. Sur la Figure 6, le moyen inductif 626, composé des enroulements 626a, 626b et 626c bobinés sur un noyau commun, a un effet équivalent à celui du moyen inductif 526 représenté sur la Figure 5. Sur la Figure
30 6, les moyens inductifs 626a et 626b sont couplés entre l'enroulement primaire 16a et un noeud 694a adjacent à l'interrupteur 22, et entre l'enroulement primaire 16b et un noeud 694b adjacent à l'interrupteur 24, respectivement. Un inhibiteur 696a comprenant la combinaison en
35 série d'un moyen inductif 692a et du trajet conducteur

anode-cathode d'une diode 694a est connecté entre le noeud 12 et un noeud 690a. Un inhibiteur similaire 696b comprenant la même combinaison en série d'un moyen inductif 692b et du trajet anode-cathode d'une diode 694b est connecté entre le noeud 12 et un autre noeud 690b. Un moyen capacitif 621 connecte le noeud 690a au noeud 694a, et un moyen capacitif 623 connecte le noeud 690b au noeud 694b. Les trajets anode-cathode des diodes 698a et 698b connectent les noeuds 690a et 690b, respectivement, au noeud 10.

Comme mentionné, le transformateur 14 peut être bobiné de sorte que le moyen inductif 26 et/ou le moyen capacitif 28 soient relativement petits, de manière à être négligeables, ou ils peuvent être importants. Ainsi, ces éléments peuvent être présents ou non, suivant le cas. De même, un moyen redresseur (non illustré sur la Figure 6) peut être couplé aux bornes 690 et 692 du dispositif de la Figure 6 pour redresser la tension alternative de manière à engendrer une tension continue qui peut être appliquée à une charge.

Lors du fonctionnement, le dispositif de la Figure 6 peut fonctionner dans l'un quelconque d'un premier mode (cycle d'utilisation de 50 %), d'un second mode (survolteur), et d'un troisième mode (dévolteur) ou dans tous ces modes. Les tracés de la Figure 7 représentent le mode à cycle d'utilisation de 50 %, ceux de la Figure 8 représentent le fonctionnement dans le mode survolteur, et ceux de la Figure 9 représentent le mode dévolteur. En général, dans le mode survolteur, la tension au noeud 16c est élevée au-dessus de celle du mode à cycle d'utilisation de 50 % pendant certaines parties du cycle, de manière à augmenter ainsi la tension couplée à l'enroulement secondaire, et, dans le mode dévolteur, la tension au noeud 16c est abaissée au-dessous de celle se produisant dans le mode à cycle d'utilisation de 50 % de

manière à diminuer ainsi la tension couplée à l'enroulement secondaire. Le survoltage est réalisé par des périodes de conduction simultanée des interrupteurs 22 et 24, ce qui augmente effectivement le courant à travers le moyen inductif 20, et le dévoltage est réalisé par des périodes d'absence de conduction simultanée des interrupteurs, ce qui tend à réduire le courant dans le moyen inductif 20.

La Figure 7 concerne le fonctionnement à cycle d'utilisation de 50 % pendant des cycles récurrents de fonctionnement s'étendant du temps T_0 au temps T_0 suivant. Juste avant le temps T_0 , l'interrupteur 22 est conducteur ou fermé, l'interrupteur 24 est non conducteur ou ouvert, et le courant circule depuis le noeud 10 à travers le moyen inductif 20, l'enroulement primaire 16a, le moyen inductif 626a, et l'interrupteur 22 jusqu'au noeud 12 (tension de référence neutre ou de terre). L'interrupteur 24 de la Figure 6 est fermé au temps T_0 et reste fermé jusqu'au temps T_{20} , et sa tension chute pendant cet intervalle, comme illustré par le tracé 724 de la Figure 7c dans l'intervalle T_0 - T_{20} . L'interrupteur 22 s'ouvre au temps T_0 , et reste ouvert jusqu'au temps T_{20} , comme illustré par les tensions finies du tracé 722 de la Figure 7 dans cet intervalle. Au temps T_{20} , l'interrupteur 24 s'ouvre, comme illustré par l'augmentation de tension sur le tracé 724 dans l'intervalle T_{20} - T_0 , et l'interrupteur 22 se ferme, comme indiqué par la basse tension du tracé 722 de la Figure 7a pendant T_{20} - T_0 . Pendant leurs intervalles de fermeture, les interrupteurs 22 et 24 conduisent un courant sensiblement constant, comme illustré par les tracés 752 et 754, respectivement, des Figures 7b et 7d.

Le courant à travers le moyen inductif 20 est sensiblement constant pendant le cycle tout entier, comme illustré par le tracé 756 de la Figure 7e. Comme une

tension continue ne peut pas être appliquée aux bornes d'un moyen inductif sans y changer le courant, la tension au noeud 16c reste proche de la tension au noeud 10. Le tracé 760 de la Figure 7g illustre la tension au

5 noeud 16c et montre les effets des résonances de fuite et de circuit près des temps de commutation T_0 et T_{20} . Au temps T_0 , lorsque l'interrupteur 22 s'ouvre et que l'interrupteur 24 se ferme, le courant ne peut pas immédiatement cesser de circuler dans le moyen inductif

10 626a, et son courant circule dans un demi-cycle résonant à travers le moyen capacitif 621 et la diode 698a en revenant au noeud 10. La circulation de courant à travers le moyen capacitif 621 charge sa lame adjacente au noeud 694a en haute tension positive. Le second demi-

15 cycle de résonance ne peut pas se produire, car la diode 698a se trouve polarisée en sens inverse, et la lame du moyen capacitif 621 adjacente au noeud 690a reste donc au niveau de la tension du noeud 10. Le tracé 774 de la Figure 7m représente la tension aux bornes du moyen

20 capacitif 621. Dans l'intervalle suivant qui s'étend jusqu'au temps T_{20} , le courant à travers le moyen inductif 20, l'enroulement primaire 16b, le moyen inductif 626b, et l'interrupteur 24 entraîne une tension aux bornes de l'enroulement secondaire 18, illustrée par le

25 tracé 770 de la Figure 7j, ce qui fait circuler un courant secondaire, comme illustré par le tracé 762 de la Figure 7h.

Au temps T_{20} , à mi-chemin entre les temps T_0 , l'interrupteur 22 de la Figure 6 devient conducteur, et

30 l'interrupteur 24 devient non conducteur. Lorsque l'interrupteur 22 se ferme, la tension aux bornes du moyen capacitif 621 (tracé 774 de la Figure 7m) fait circuler un demi-cycle résonant de courant à travers le moyen capacitif 621, l'interrupteur 22, et à travers le

35 moyen inductif 692a et la diode 694a de l'inhibiteur

696a. Le courant résonant est illustré par le tracé 772 de la Figure 7k. La charge est transférée de la lame 694a à la lame adjacente au noeud 690a, si bien que la tension aux bornes du moyen capacitif 621 est inversée dans l'intervalle T20-T28, comme indiqué sur la Figure 7m. Ainsi, le courant dans l'interrupteur 22 augmente après le temps T20, mais le courant ne vient pas du moyen inductif 626a, mais plutôt du moyen capacitif 621, résonant avec l'inducteur 692a. Le courant dans le moyen inductif 626a augmente plus lentement. Egalement dans l'intervalle suivant immédiatement le temps T20, le courant circulant alors dans le moyen inductif 626b circule à travers le moyen capacitif 623 et le charge, et revient au noeud 10 en circulant à travers la diode 698b. Le moyen capacitif 623 reste chargé lorsque le demi-cycle suivant de résonance est bloqué par la diode 698b. Les impulsions de courant dans le moyen capacitif 28 (s'il est présent) associé au moyen inductif 26 et l'inversion de la tension secondaire sont illustrées par le tracé 764 de la Figure 7i. La tension de sortie alternative souhaitée apparaissant aux bornes du moyen capacitif 28 est illustrée en 770 sur la Figure 7j. La tension alternative, comme mentionné, peut être appliquée à un moyen redresseur pour être transformée en tension continue. Aucun courant significatif ne circule à travers l'enroulement 222 du transformateur 220 dans le mode à cycle d'utilisation de 50 %, comme illustré par la forme d'onde 758 de la Figure 7f.

Dans le mode survolteur du dispositif de la Figure 6, dont le fonctionnement est illustré par les formes d'onde de la Figure 8, chaque interrupteur 22 et 24 se ferme plus tôt que T0 ou que le temps intermédiaire T50, et s'ouvre plus tard, de manière à créer un intervalle de chevauchement au cours duquel les deux interrupteurs 22 et 24 sont conducteurs. L'intervalle de chevauchement

des interrupteurs 22 et 24 est illustré par les tracés 822 de la Figure 8a et 824 de la Figure 8c, sur lesquels les intervalles de chevauchement de conduction sont T44-T56 et T64-T36, encadrés par des flèches grasses associées aux Figures 8b et 8c. Pendant ces intervalles, les enroulements primaires 16a et 16b, et les moyens inductifs couplés 626a et 626b, ont des courants égaux et opposés, et tendent à prendre un état de basse impédance. En conséquence, le moyen inductif 20 est effectivement connecté aux noeuds 10 et 12 et reçoit toute la tension de la source. En conséquence, le courant à travers le moyen inductif 20 augmente dans les intervalles de chevauchement T64-T36 et T44-T56, comme illustré par le tracé 856 de la Figure 8e.

Juste avant le temps T36, les interrupteurs 22 et 24 de la Figure 6 sont fermés ou conducteurs, et le courant croissant circule à travers le moyen inductif 20 car la tension au noeud 16c est proche de zéro. Les deux moyens capacitifs 621 et 623 sont chargés, les noeuds 690a et 690b étant positifs par rapport aux noeuds 694a et 694b, respectivement. Le courant circulant dans le moyen inductif 20 au temps T36 se divise de façon égale entre les enroulements primaires 16a et 16b. Un courant circulant circule à travers le moyen capacitif 28 et l'enroulement secondaire 18, ce qui entraîne une circulation de courant en boucle comprenant les enroulements primaires 16a et 16b, les moyens inductifs 626a et 626b, et les interrupteurs 22 et 24, ce qui se manifeste par une partie de courant résonant illustrée sur le tracé 864 de la Figure 8i, de même que sur les tracés de courant de contact 852 de la Figure 8b et 854 de la Figure 8d.

Au temps T36, l'interrupteur 22 de la Figure 6 s'ouvre. Le courant continue de circuler à travers le moyen inductif 626a, le moyen capacitif 621 et la diode

698a pour revenir au noeud 10. Comme le moyen capacitif 621 était précédemment chargé par la pleine tension d'alimentation, la tension aux bornes de l'interrupteur 22 est maintenue basse par le moyen capacitif 621 et ne
5 s'accroît pas immédiatement. Au lieu de cela, la tension aux bornes de l'interrupteur 22 augmente lentement dans le temps suivant le temps T36 comme illustré par la forme d'onde 822 de la Figure 8a dans l'intervalle T36-T38, alors que le moyen inductif 626a transfère l'éner-
10 gie au moyen capacitif. La tension au noeud 16c s'accroît de zéro à une valeur de pointe après le temps T36, comme illustré par le tracé 860 de la Figure 8g, alors que la circulation de courant à travers le moyen inductif 20 rencontre une impédance finie.

15 Dans l'intervalle T36-T44, l'interrupteur 22 de la Figure 6 reste ouvert, et l'interrupteur 24 reste fermé, si bien que le courant circule à travers le moyen inductif 20, l'enroulement primaire 16b, le moyen inductif 626b, et l'interrupteur 24 jusqu'au noeud 12. Cette cir-
20 culation de courant fait circuler un courant proportionnel dans l'enroulement 18 qui peut être appliqué à une charge, illustré par le tracé 862 de la Figure 8h.

Dans l'intervalle T36-T38, le niveau auquel la tension aux bornes de l'interrupteur 22 de la Figure 6
25 s'accroît dépend des divers courants et des valeurs des composants, de même que de la tension de la source. La tension au noeud 16c répond à la tension aux bornes de l'interrupteur 22 en raison de l'action des enroulements 16a et 16b du transformateur 14, étant formé un peu
30 comme un auto-transformateur grâce à l'état fermé de l'interrupteur 24 et à l'application de courant au noeud 16c. Dans certaines conditions, l'augmentation de la tension au noeud 16c attribuable à la tension aux bornes de l'interrupteur 22 peut être suffisante pour accroître
35 la tension aux bornes des enroulements 222 et 626c de

façon suffisante pour polariser en sens direct le redresseur en pont 624, de manière à renvoyer ainsi l'énergie à la source. La circulation de courant dans cette condition dans l'enroulement 222 est illustrée sur le tracé 858 de la Figure 8f. La circulation de courant dans l'enroulement 222 réduit à son tour le courant à travers le moyen inductif 20 de manière à maintenir constant le nombre d'ampère-tours du transformateur 220. Il en résulte une encoche, illustrée en 857, sur le tracé de courant 858 de la Figure 8e. Egalement près du temps T38, le courant circulant dans l'enroulement 626c réduit de façon similaire le courant dans l'enroulement 626b, ce qui réduit l'intensité de charge du condensateur 621 et limite en conséquence la tension de pointe aux bornes de l'interrupteur 22. Cette limitation de la tension de pointe se manifeste par un arrondi de la valeur de pointe 823 de la forme d'onde du tracé 822 de la Figure 8a.

Dans l'intervalle T38-T44, la tension au noeud 16c de la Figure 6 est supérieure à celle au noeud 10, alors que le moyen inductif 20 libère l'énergie acquise au cours de l'intervalle précédent T64-T36, et ce dégagement se manifeste par une diminution du courant du moyen inductif illustrée sur le tracé 856 de la Figure 8e, et se manifeste également par une augmentation de la tension au noeud 16c supérieure à la tension qu'il aurait autrement. La tension au noeud 16c est illustrée par le tracé 860 de la Figure 8g. Au temps T44, l'interrupteur 22 se ferme. L'interrupteur 24 est déjà fermé au temps T44, et reste fermé jusqu'au temps suivant T56. En conséquence, il se produit une période de conduction simultanée des interrupteurs, l'enroulement primaire 16a et 16b est à nouveau court-circuité, et son impédance chute. Cela applique à nouveau la pleine tension de la source aux bornes du moyen inductif 20, ce qui augmente

le courant à ses bornes, comme illustré par le tracé 856 de la Figure 8e, alors que l'énergie totale en augmentation est stockée dans le moyen inductif en préparation d'un autre cycle de fonctionnement.

5 Au temps T44, avec l'interrupteur 22 de la Figure 6 fermé, la tension aux bornes du moyen capacitif 621 polarise en sens direct la diode 694a, tandis que la diode 698a reste polarisée en sens inverse. Un circuit résonant est formé, lequel comprend le moyen capacitif
10 621 et le moyen inductif 692a de l'inhibiteur 696a. Le circuit résonant passe par un demi-cycle de résonance. Le tracé 872 de la Figure 8k illustre le courant à travers l'inhibiteur 696a. Ce demi-cycle de résonance a pour effet d'inverser la tension aux bornes du moyen
15 capacitif 621, comme illustré par le tracé 874 de la Figure 8m dans l'intervalle T44-T50. La tension aux bornes du moyen capacitif 621 au début du demi-cycle de résonance peut être supérieure à la tension de la source existant alors entre les noeuds 10 et 12. Alors que
20 l'inversion de la tension mentionnée ci-dessus se poursuit, la tension au noeud 690a de la Figure 6 peut avoir tendance à s'élever au-dessus de la tension du noeud 10, grâce à quoi la diode 698a est conductrice et bloque la tension du moyen capacitif à la tension de la source. Un
25 "crochet" 853 sur le tracé 852 de la Figure 8b est un résultat du demi-cycle de courant 872 de l'inhibiteur de la Figure 8h.

Dans l'intervalle T44-T56, le moyen capacitif 28 de la Figure 6 (s'il est présent) se décharge à travers
30 l'enroulement secondaire 18, et se recharge dans la polarité opposée, comme illustré par le tracé 870 de la Figure 8j. Une partie d'un cycle de résonance de circulation du courant à travers le moyen capacitif 28 est illustrée par le tracé 864 de la Figure 8i, et le chan-
35 gement de tension résultant est illustré par le tracé

870 de la Figure 8j. La circulation de courant résonant dans le moyen capacitif 28 est couplée aux enroulements primaires 16a et 16b du transformateur, et résulte en des parties résonantes de circulation de courant à travers l'interrupteur 22, illustrées sur le tracé 852 de la Figure 8b précédant juste le temps T56. La résonance est due au moyen capacitif 28 et aux moyens inductifs 26, 626a et 626b, formant un circuit de résonance LC série.

Au temps T56 de la Figure 7, l'interrupteur 24 de la Figure 6 s'ouvre tandis que l'interrupteur 22 reste fermé. Le demi-cycle s'étendant de T56 à T64 va correspondre à celui décrit pour l'intervalle T36-T44, et il n'est pas nécessaire de donner une description plus détaillée.

Le résultat du fonctionnement en mode survolteur est d'engendrer une tension alternative aux bornes de sortie 690 et 692 qui est supérieure à celle qui se produit dans le mode de fonctionnement à cycle d'utilisation de 50 %.

Il est à noter que les Figures 8a-8m concernent une durée de chevauchement coïncidant avec une demi-période d'oscillation du moyen capacitif 28 de la Figure 6 avec le moyen inductif 26, et avec d'autres éléments tels que le moyen inductif 626. La demi-période d'oscillation est illustrée par le tracé 864 sur la Figure 8i. Un champ continu de durées de chevauchement est possible, s'étendant de zéro à environ 15 % de la durée du cycle global, ou plus. La valeur du chevauchement affecte les formes d'onde, par exemple la forme d'onde 870 de la Figure 8j pourrait avoir $1 \frac{1}{2}$ cycles d'oscillation dans l'intervalle T44-T56, au lieu d'un demi-cycle comme représenté. Cela n'affecte pas le fonctionnement global du convertisseur.

Dans le mode dévolteur de fonctionnement du dispo-

sitif de la Figure 6, dont le fonctionnement est expliqué en relation avec les Figures 9a-9m, les périodes de conduction des interrupteurs 22 et 24 sont séparées par des périodes d'ouverture ou sans courant, encadrées par
5 des flèches grasses associées aux Figures 9b, au cours desquelles aucun interrupteur n'est conducteur. Cela tend à réduire le courant à travers le moyen inductif 20 d'une manière qui abaisse la tension secondaire transformée au-dessous de celle qui serait transformée dans
10 le mode à cycle d'utilisation de 50 %.

Avant le temps T_0 dans le mode dévolteur, l'interrupteur 22 de la Figure 6 est fermé, comme indiqué par l'intensité finie du courant de contact illustré par le tracé 952 sur la Figure 9b, et l'interrupteur 24 est
15 ouvert. Le courant en augmentation circule à travers le moyen inductif 20, le moyen inductif couplé 626a, l'enroulement primaire 16a, et l'interrupteur 22. Le moyen capacitif 621 est chargé, le noeud 690a étant positif par rapport au noeud 694a, et le moyen capacitif
20 623 maintient le noeud 694a positif par rapport au noeud 690b. Un courant normal circule en sortant de l'extrémité pointée de l'enroulement 18, à travers le moyen inductif 26 et la charge. La borne 692 est positive par rapport à la borne 690.

25 Au temps T_0 dans le mode dévolteur, l'interrupteur 22 de la Figure 6 s'ouvre, et l'interrupteur 24 reste non conducteur, comme illustré par les tracés 922 et 924 des Figures 9a et 9c, respectivement. La tension aux bornes de l'interrupteur 22 s'éloigne de zéro après le
30 temps T_0 alors que le condensateur 621 est chargé par le courant circulant dans les moyens inductifs 20 (tracé 956 de la Figure 9e) et 626a, et également par le courant provenant de l'énergie représentée par la circulation de courant à travers le moyen inductif 26 (si présent),
35 couplés à travers le transformateur 14. La ten-

sion aux bornes de l'interrupteur 22 atteint une crête, illustrée en 921 sur la Figure 9a, au temps T70. La tension aux bornes de l'interrupteur 24, illustrée par le tracé 924 de la Figure 9c, va également tendre à s'accroître dans l'intervalle T0-T70 alors que le courant dans le moyen inductif 20, 956 de la Figure 9e, commence à se diviser en deux voies, et à circuler à travers l'enroulement 16b de même qu'à travers l'enroulement 16a. La partie du courant circulant dans l'enroulement 16b tend à augmenter la charge sur le condensateur 623 comme le courant circule à travers la diode 698b en revenant au noeud 10.

Egalement dans l'intervalle T0-T70, comme la tension au noeud 694a de la Figure 6 s'accroît en raison de la mise en charge du condensateur 621, la tension au noeud 16c s'accroît également, comme illustré par le tracé 960 de la Figure 9g. La montée de tension au noeud 16c vers la tension au noeud 10 abaisse la tension aux bornes du moyen inductif 20. Un accroissement supplémentaire de la tension au noeud 16c au-dessus de la tension au noeud 10 inverse la tension aux bornes du moyen inductif 20, et élève alors cette tension inversée. Cela résulte en une tension accrue aux bornes de l'enroulement 222, grâce à l'action du transformateur. La tension accrue aux bornes de l'enroulement 222, ajoutée à la tension aux bornes de l'enroulement 526c, polarise en sens direct le redresseur en pont 624 et entraîne une conduction, dans l'intervalle T0-T76, ce qui renvoie l'énergie à la source comme représenté par le tracé 958 de la Figure 9f. Le courant dans le moyen inductif 20 diminue alors que le courant dans l'enroulement 222 augmente, pour des raisons décrites ci-dessus. Le courant dans le moyen inductif 20 est réduit à zéro pendant l'intervalle T70 à T76 en raison du courant à travers l'enroulement 222. De cette façon, une partie de l'éner-

gie stockée dans le moyen inductif 20 est transférée par l'enroulement 222 à la source dans l'intervalle T0-T76. Pendant l'intervalle T70-T74, la tension aux bornes du condensateur 28 de la Figure 6 (s'il est présent) s'abaisse vers zéro dans un demi-cycle sinusoïdal, comme illustré par le tracé 970 de la Figure 9j. Cela produit un courant dans l'enroulement 16b qui charge le condensateur 623, en entraînant un accroissement, illustré en 923 sur la Figure 9c, de la tension aux bornes de l'interrupteur 24.

La résonance du condensateur 28 de la Figure 6 (s'il est présent) avec ses éléments inductifs associés dans l'intervalle T0-T76 fait circuler des courants résonants à travers diverses voies, évitant les interrupteurs non conducteurs. Cette voie peut comprendre l'inhibiteur 696a, le condensateur 621, les moyens inductifs 626a et 626b, les enroulements primaires 16a et 16b, le condensateur 623, et la diode 698b. La tension aux bornes du condensateur 28 est illustrée par le tracé 970 de la Figure 9j. Les courants résonants entraînent une crête de résonance de la tension aux bornes de l'interrupteur non conducteur 22, comme illustré en 921 sur la Figure 9a, et une résonance similaire aux bornes de l'interrupteur 24, comme illustré en 923 sur la Figure 9c, et entraînent également d'autres effets résonants. La circulation de courant à travers l'enroulement secondaire 18, illustrée par le tracé 962 de la Figure 9h, représente les effets résonants.

Au temps T76 de la Figure 9, l'interrupteur 24 de la Figure 6 se ferme, alors que l'interrupteur 22 reste ouvert. Le condensateur 623 se décharge à travers l'interrupteur 24 et l'inhibiteur 969b, en créant un courant résonant à travers l'interrupteur 24, illustré en 925 sur la Figure 9d. Egalement au temps T76, le courant commence à circuler à travers l'inducteur 20, comme

illustré par le tracé 956 de la Figure 9e, et à travers l'enroulement primaire 16b vers le moyen inductif 626b, et à travers l'interrupteur 24 vers le noeud 12.

5 Au temps T76, l'inducteur 20 a son courant non égal à zéro le plus faible et donc son énergie la plus faible. Du temps T76 au temps T86, l'interrupteur 24 reste conducteur, et l'énergie est transférée à la charge. Le courant à travers l'inducteur 20 augmente car la tension au noeud 16c est inférieure à la tension au noeud 10 et
10 l'énergie additionnelle est stockée dans les champs magnétiques associés à l'inducteur 20 pendant cet intervalle. Pendant la conduction des interrupteurs, la tension au noeud 16c est plus basse qu'au noeud 10 car pendant le temps où les deux interrupteurs sont ouverts,
15 elle est plus haute et la moyenne sur un cycle complet T0-T0 doit être effectivement égale à la tension de la source.

 Dans l'intervalle T76-T77 de la Figure 9, après la fermeture de l'interrupteur 24, la tension aux bornes de
20 l'enroulement secondaire 18 s'accroît lentement alors que le condensateur 28 se charge. La tension aux bornes du condensateur 28 est illustrée par le tracé 970 de la Figure 9j. Dans l'intervalle T76-T78, la baisse de tension aux bornes de l'interrupteur 24 est communiquée à
25 l'interrupteur 22 à travers le transformateur 14, et cela peut rendre l'inhibiteur 696a conducteur, comme illustré par le tracé 975 de la Figure 9k, afin de décharger partiellement le condensateur 621 à la nouvelle tension.

30 Au temps T86 de la Figure 9, l'interrupteur 24 de la Figure 6 s'ouvre, et l'interrupteur 22 reste ouvert. La tension aux bornes de l'interrupteur 24 s'élève progressivement depuis zéro, alors que le courant circulant précédemment à travers l'interrupteur 24 est dérivé pour
35 circuler à travers le condensateur 623 et la diode 698b,

en déchargeant d'abord le condensateur, puis en le rechargeant dans la polarité opposée. Comme la tension de l'interrupteur 24 s'élève vers une valeur maximale, comme expliqué en relation avec l'interrupteur 22, la tension s'accroît au noeud 16c, de même qu'aux bornes de l'interrupteur 22. Cela fait prendre au condensateur 621 une charge additionnelle et une plus haute tension, comme illustré après le temps T86 sur le tracé 974 de la Figure 9m.

10 Le fonctionnement du dispositif de la Figure 6 dans l'intervalle T86-T92 correspond à celui de l'intervalle T0-T76, et sera compris d'après la description ci-dessus.

Les moyens inductifs couplés 626a et 626b de la Figure 6 sont montés en série avec les enroulements primaires 16a et 16b, respectivement, du transformateur 14. Cela modifie peu le fonctionnement du dispositif de la Figure 6 si les moyens inductifs couplés 626a et 626b sont sur les côtés à prise centrale des enroulements primaires au lieu d'être sur les côtés opposés à la prise centrale 16c, bien que les formes d'onde pendant le fonctionnement apparaîtront légèrement différentes de celles illustrées sur les Figures 7, 8 et 9. Une fois connectés de cette façon, les enroulements couplés 626a et 626b prennent l'aspect général des enroulements 526a et 526b de la Figure 5. L'équivalence de ces différentes connexions est claire, et l'équivalence des enroulements couplés magnétiquement 526c et 626c est claire également. En réalité, on peut utiliser soit l'un soit les deux des ensembles de moyens inductifs 526, 626. De même, dans le dispositif de la Figure 6, les moyens inductifs 626a et 626b peuvent ne pas être couplés, dans quel cas le fonctionnement est essentiellement le même que celui décrit, mais une plus grande tension de crête peut apparaître aux bornes des interrupteurs 22 et 24.

La puissance des convertisseurs décrits est élevée en partie parce que les interrupteurs, à la fermeture, ont des circulations de courant faible ou zéro, comme illustré par exemple par le courant à travers l'interrupteur 22 au temps T92 de la Figure 9b. Comme illustré sur la Figure 9b, le courant semble monter instantanément mais cela est dû à l'échelle de la figure. En réalité, le courant dans l'interrupteur 22 est attribuable aux effets résonants qui commencent au courant zéro parce que le courant peut seulement venir des moyens inductifs 692a et/ou 626a de la Figure 6, tous deux ayant un courant essentiellement zéro à la fermeture. A l'ouverture de l'interrupteur 22, la tension aux bornes de l'interrupteur est maintenue proche de zéro par le condensateur 621 et par la conduction de la diode 698a pendant un temps suffisant pour permettre à l'interrupteur de devenir parfaitement non conducteur. Le produit de la tension d'interrupteur multipliée par le courant d'interrupteur est par conséquent faible à la fois pendant la fermeture et l'ouverture, ce qui entraîne une faible dissipation de puissance dans l'interrupteur et donc une grande puissance du circuit.

Dans le contexte dans lequel un moyen redresseur est connecté au condensateur 28, les caractéristiques du convertisseur présentent d'autres avantages de rendement. En particulier, la tension de sortie est filtrée par le condensateur 28, le moyen inductif 26 et les moyens inductifs 626, si bien que les inversions de tension aux bornes du moyen redresseur se produisent lentement, ce qui laisse au redresseur le temps de se rétablir de l'état de conduction avant que d'importantes tensions inverses ne soient appliquées, ce qui réduit ainsi les pertes attribuables à la fermeture et à l'ouverture du moyen redresseur.

La description du fonctionnement du dispositif de

la Figure 6 en relation avec les Figures 7, 8 et 9 se réfère aux temps de cycle T_0 - T_0 . Un mode de fonctionnement préféré est le mode à fréquence constante, dans lequel les temps T_0 - T_0 illustrés sur les Figures 7, 8 et 9 ont une durée égale parmi les modes à cycle d'utilisation de 50 %, survolteur et dévolteur. Cependant, il peut également fonctionner avec une fréquence variable, ce qui peut être réalisé par exemple en fixant les durées de fermeture des interrupteurs 22 et 24, et en faisant varier la fréquence de fonctionnement de manière à modifier le temps du cycle total. Cela peut être compris en considérant une fréquence à laquelle les périodes de fermeture fixées des interrupteurs 22 et 24 sont contiguës, c'est-à-dire que la commutation de conduction d'un interrupteur à l'autre se produit essentiellement simultanément. Si la fréquence est diminuée, le temps du cycle devient plus long, grâce à quoi les deux durées fixées de conduction des interrupteurs sont, à elles deux, inférieures au temps du cycle total ; il doit donc y avoir des périodes de temps au cours desquelles les deux interrupteurs sont ouverts, ce qui correspond au mode de fonctionnement dévolteur. Inversement, si la fréquence est augmentée par rapport à l'état du cycle d'utilisation de 50 %, avec des durées de fermeture fixées, le temps du cycle devient plus court, et il doit se produire des périodes de conduction simultanée, ce qui correspond au mode survolteur. Bien sûr, le point de fonctionnement normal peut être soit dans le mode survolteur soit dans le mode dévolteur, avec un domaine de fonctionnement qui est limité à ce mode, sans incursions dans le mode à cycle d'utilisation de 50 % ou dans l'autre mode.

On peut modifier le dispositif de la Figure 6 en supprimant l'enroulement 222 du transformateur 220, l'enroulement 626c de l'ensemble de moyens inductifs

couplés 626, et le redresseur 624. On peut aussi le modifier en connectant un moyen inductif couplé 526 comme cela était précédemment représenté sur la Figure 6. Soit le moyen inductif 626 ou 526 soit les deux avec
5 ou sans l'enroulement 526a, 626c et le redresseur 526 et 624 peuvent faire partie du circuit de la Figure 6.

La Figure 10 illustre un dispositif de commande simple qui peut être utilisé pour commander les interrupteurs 22 et 24 dans un fonctionnement à fréquence
10 fixe. Sur la Figure 10, un circuit modulateur d'impulsions en largeur (PWM) 1010 tel que ceux utilisés dans les circuits intégrés des types 1524, 1525 ou 1526 fabriqués par Silicon General (Garden Grove, Californie), engendre deux signaux de sortie A et B ayant des
15 temps d'impulsions variables en réponse à un signal de commande appliqué au terminal d'entrée 1016. Les signaux de sortie A et B sont identiques sauf qu'ils sont décalés dans le temps l'un par rapport à l'autre d'un demi-cycle, c'est-à-dire de la moitié de l'intervalle de
20 temps T_0 - T_0 . Les impulsions A et B sont appliquées séparément à des dispositifs d'étalement d'impulsions 1012 et 1014 qui pourraient être aussi simples qu'une paire de multivibrateurs monostables déclenchés par flanc d'impulsion descendant et/ou un circuit logique "OU" à
25 diode pour ajouter chaque sortie d'une position à la sortie correspondante du modulateur d'impulsions en largeur (PWM). Les dispositifs d'étalement d'impulsions 1012 et 1014 peuvent être commandés par leurs valeurs de composants propres ou par des signaux de commande appliqués à leurs entrées de commande 1022, 1014, respective-
30 ment. Dans un mode de réalisation de l'invention fonctionnant à une fréquence de répétition d'impulsions de l'ordre de 50 kHz (durée de cycle de 20 μ s, demi-cycle de 10 μ s), chaque dispositif d'étalement d'impulsions a
35 réalisé un étalement de 10 % environ (1 μ s sur 10 μ s).

On connaît et on peut utiliser de nombreux procédés élaborés destinés à engendrer des signaux de déclenchement pour interrupteurs d'alimentation.

En particulier, on peut utiliser un système de
5 rétroaction à boucle fermée, comme cela est bien connu dans la technique, dans lequel la tension (ou courant) de sortie de la structure commandée (l'inverseur ou le convertisseur des Figures 1, 2, 5 ou 6) est détectée et comparée avec une tension (ou courant) de référence pour
10 engendrer un signal d'erreur, et le signal d'erreur est appliqué à contre-réaction pour commander la fréquence de fonctionnement ou pour commander la durée de fermeture dans le mode à fréquence fixe, par exemple à l'appliquant à la borne d'entrée 1016 du modulateur 1010
15 de la Figure 10. La durée de l'étalement des impulsions peut être également commandée par une autre boucle détectant des changements de la tension de la source et couplant les changements, modifiés de façon appropriée, aux entrées de commande 1022 et 1024 du dispositif
20 d'étalement, ce qui permet d'obtenir un système de commande adaptative ou à action directe. Les détails d'une telle commande à rétroaction font partie de la technique classique et ne seront pas traités plus amplement.

La Figure 11a illustre un transformateur 1100 avec
25 un noyau magnétique en U 1112 et une pièce d'extrémité en I 1114. Un enroulement primaire 1116 est enroulé sur la première branche du noyau, et un enroulement secondaire 1118 est enroulé sur l'autre branche. Cette structure est couplée moins fermement qu'un transformateur
30 dans lequel les deux enroulements primaire et secondaire sont enroulés sur la même branche, et a donc une importante valeur d'inductance de fuite. La Figure 11c est une représentation schématique de la Figure 11a. Sur la Figure 11c, un transformateur idéal 1120 représente le
35 couplage entre les enroulements 1116 et 1118, et un

moyen inductif ou enroulement 1122 représente l'inductance de fuite. La valeur d'inductance de fuite peut être réglée en enroulant une partie de l'enroulement primaire sur la même branche que l'enroulement secondaire, comme illustré par les parties 1116a et 1116b de l'enroulement primaire de la Figure 11b.

D'autres modes de réalisation de l'invention seront évidents pour les spécialistes de la technique. En particulier, des moyens inductifs séparés peuvent être enroulés sur le même noyau, par exemple les moyens inductifs 626a et 626b de la Figure 6 peuvent être enroulés soit séparément, soit de préférence sur le même noyau, puisque leur conduction alternée règle la magnétisation, si bien qu'il faut un noyau plus petit que si des noyaux séparés étaient utilisés. On peut utiliser des noyaux magnétiques U-U au lieu des noyaux U-I du dispositif de la Figure 11, et d'autres configurations d'enroulement formant une inductance de fuite sont possibles, par exemple en enroulant une partie de l'enroulement secondaire sur la même branche du noyau que l'enroulement primaire, ou en enroulant des parties des deux enroulements primaire et secondaire sur chacune des deux branches du noyau.

REVENDEICATIONS

1. Convertisseur de puissance pour convertir, en un courant alternatif, la tension continue d'une source de tension continue comprenant des premier (10) et second (12) pôles entre lesquels ladite tension continue est engendrée, comprenant :

un premier transformateur (14) comprenant un enroulement primaire (16) et un enroulement secondaire (18), l'enroulement primaire comprenant des première (16a) et seconde (16b) parties et une prise centrale (16c, 598) connectée entre ces parties, l'enroulement primaire (16) étant couplé magnétiquement à l'enroulement secondaire ;

un premier moyen inductif (20) connecté à la prise centrale (16c, 598) et au premier pôle (10) de la source de tension continue ;

des premier (22) et second (24) interrupteurs commandables connectés aux extrémités des première (16a) et seconde (16b) parties de l'enroulement primaire (16), respectivement, à l'opposé du premier moyen inductif (20), et connectés également au second pôle (12) de la source de tension continue pour permettre, lorsque le premier interrupteur (22) est conducteur et le second interrupteur (24) n'est pas conducteur, une circulation du courant à travers le premier moyen inductif (20) et la première partie (16a) de l'enroulement primaire du premier transformateur (14) et pour permettre, lorsque le second

interrupteur (24) est conducteur et le premier interrupteur (22) n'est pas conducteur, une circulation du courant à travers le premier moyen inductif (20) et la seconde partie (16b) de l'enroulement primaire du premier transformateur (14), et pour court-circuiter l'enroulement primaire (16) lorsque les deux premier (22) et second (24) interrupteurs sont conducteurs de manière à appliquer ainsi la tension continue aux bornes du premier moyen inductif (20) et pour supprimer du premier moyen inductif (20) la tension d'excitation lorsque les deux premier (22) et second (24) interrupteurs ne sont pas conducteurs ; et

un moyen de commande (figure 10) connecté aux interrupteurs (22, 24) pour faire fonctionner de façon cyclique lesdits interrupteurs (22, 24) dans au moins l'un de premier, second et troisième modes de fonctionnement, chacun des premier, second et troisième modes de fonctionnement assurant au cours de chaque cycle de fonctionnement une période de conduction et une période d'absence de conduction de chacun des premier et second interrupteurs, (a) les périodes de conduction et d'absence de conduction ayant une durée égale dans le cas du premier mode de fonctionnement, grâce à quoi les premier et second interrupteurs établissent une conduction de façon alternée, et un courant circule continuellement à travers le premier moyen inductif, et la tension alternative produite aux bornes de l'enroulement secondaire présente une relation d'amplitude particulière vis-à-vis de la tension continue,

(b) lesdites périodes de conduction ayant une durée plus grande que les périodes d'absence de conduction dans le cas du second mode de fonctionnement, grâce à quoi les périodes de conduction de chacun des premier et second interrupteurs alternent avec des périodes de conduction simultanées des deux premier et second interrupteurs, ce qui court-circuite l'enroulement primaire de manière à tendre ainsi à augmenter la circulation de courant à travers le premier moyen inductif, et la tension alternative produite aux bornes de l'enroulement secondaire présente une amplitude plus grande par rapport à la tension continue que celle fournie par ladite relation particulière; et (c) lesdites périodes d'absence de conduction ayant une durée plus grande que les périodes de conduction dans le cas du troisième mode de fonctionnement, grâce à quoi les périodes de conduction de chacun des premier et second interrupteurs alternent avec des périodes d'absence de conduction des premier et second interrupteurs, ce qui ouvre le circuit de l'enroulement primaire de manière à tendre ainsi à diminuer la circulation du courant à travers le premier moyen inductif, et la tension alternative produite aux bornes de l'enroulement secondaire présente une amplitude plus faible par rapport à la tension continue que celle fournie par ladite relation particulière.

2. Convertisseur selon la revendication 1, comprenant en outre un moyen capacitif (28) connecté en série avec le second moyen inductif (26) pour former un

circuit série, ce circuit série étant connecté aux bornes de l'enroulement secondaire (18).

3. Convertisseur selon la revendication 2, comprenant en outre un moyen redresseur (8) connecté aux bornes du moyen capacitif (28) pour redresser la tension alternative de manière à produire une tension de sortie continue.

4. Convertisseur selon la revendication 2, dans lequel au moins l'un du moyen capacitif (28) et du second moyen inductif (26) est constitué par l'impédance inhérente du premier transformateur (14).

5. Convertisseur selon la revendication 4, dans lequel le second moyen inductif (26) est formé par l'inductance de fuite du premier transformateur (14).

6. Convertisseur selon la revendication 3, dans lequel le moyen redresseur (8) comprend un redresseur en pont (38, 40, 42, 44).

7. Convertisseur selon la revendication 1, comprenant en outre des premier (21) et second (23) moyens capacitifs connectés aux bornes des premier (22) et second (24) interrupteurs, respectivement.

8. Convertisseur selon la revendication 1, comprenant en outre :

un autre enroulement (222) connecté au premier moyen inductif (20) ;

un moyen à conduction unidirectionnelle (224, 524, 624) monté en série avec ledit autre enroulement (222) pour

former un circuit de blocage ; et

des moyens (conducteurs) pour connecter le circuit de blocage aux bornes de la source de tension continue, grâce à quoi l'énergie stockée dans le premier moyen inductif peut être renvoyée à la source de tension continue pendant les périodes au cours desquelles les premier (22) et second (24) interrupteurs sont tous deux non-conducteurs dans le cas du troisième mode de fonctionnement.

9. Convertisseur selon la revendication 5, dans lequel le premier transformateur comprend un noyau (17, 112) comprenant des première et seconde branches magnétiques, un des enroulements primaire et secondaire étant enroulé sur la première branche et l'autre de ces enroulements primaire et secondaire étant enroulé au moins partiellement sur la seconde branche.

10. Convertisseur selon la revendication 1, comprenant en outre des second (526a) et troisième (526b) moyens inductifs connectés à la prise centrale (598) et connectés aussi en série avec les première (16a) et seconde (16b) parties, respectivement, de l'enroulement primaire (16) du premier transformateur (14).

11. Convertisseur selon la revendication 10, dans lequel les second (526a) et troisième (526b) moyens inductifs sont couplés magnétiquement.

12. Convertisseur selon la revendication 11, comprenant en outre un troisième enroulement (526c) couplé magnétiquement aux second (526a) et troisième (526b) moyens

inductifs.

13. Convertisseur selon la revendication 12, comprenant en outre un moyen redresseur (524) couplé au troisième enroulement (526c).

5 14. Convertisseur selon la revendication 13, comprenant en outre un quatrième enroulement (222) couplé en transformateur au premier moyen inductif (20).

15 15. Convertisseur selon la revendication 14, comprenant en outre des moyens (conducteurs) pour connecter le quatrième enroulement et le moyen redresseur aux bornes de la source de tension continue.

16. Convertisseur selon la revendication 1, dans lequel le premier moyen inductif (20) comprend l'enroulement primaire d'un second transformateur (220).

15 17. Convertisseur selon la revendication 16, dans lequel le second transformateur (220) comprend un enroulement secondaire (222).

18. Convertisseur selon la revendication 17, comprenant en outre un moyen redresseur (224, 524, 624) connectant l'enroulement secondaire (222) du second transformateur (220) aux bornes de la source de courant continu.

19. Convertisseur selon la revendication 18, comprenant en outre des second (526a, 626a) et troisième (526b, 626b) moyens inductifs montés en série avec les première (16a) et seconde (16b) parties, respectivement, de l'enroulement primaire (16) du premier transformateur (14).

20. Convertisseur selon la revendication 19, comprenant en outre :

un premier moyen capacitif (621) connecté au premier interrupteur (22) et au second moyen inductif, 5 respectivement, pour recevoir le courant du second moyen inductif pendant au moins certains intervalles au cours desquels le premier interrupteur (22) est ouvert ;

un premier moyen (698a) de conduction unidirectionnelle de courant connecté au premier moyen 10 capacitif (621) et à la source de tension continue (10) pour permettre une demi-période de résonance du premier moyen capacitif (621) avec au moins le second moyen inductif (626a) ;

un second moyen capacitif (623) ; et

15 un second moyen (698b) de conduction unidirectionnelle de courant connecté au second moyen capacitif (623) et à la source de tension continue (10) pour permettre une demi-période de résonance du second moyen capacitif (623) avec au moins le troisième moyen 20 capacitif (626b).

21. Convertisseur selon la revendication 20, comprenant en outre un moyen d'inhibition connecté au premier moyen capacitif (621) et au premier interrupteur (22), ce moyen d'inhibition comprenant un quatrième moyen 25 inductif (692a) monté en série avec le troisième moyen (694a) de conduction unidirectionnelle de courant pour former, lorsque le premier interrupteur (22) passe de

l'état ouvert à l'état fermé alors qu'une charge existe sur le premier moyen capacitif (621), un circuit résonant comprenant le quatrième moyen inductif (692a) et le premier moyen capacitif (621).

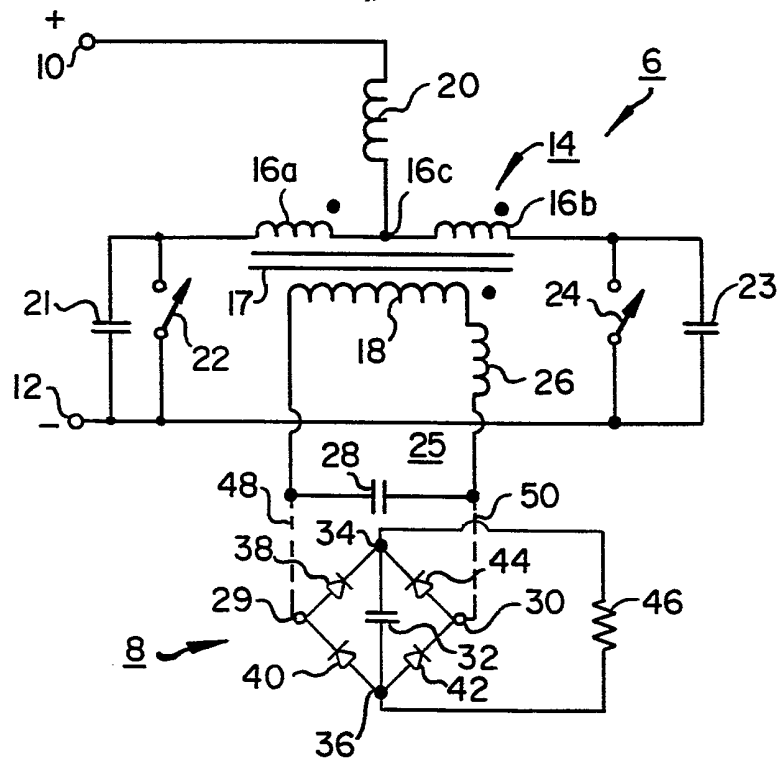


Fig. 1

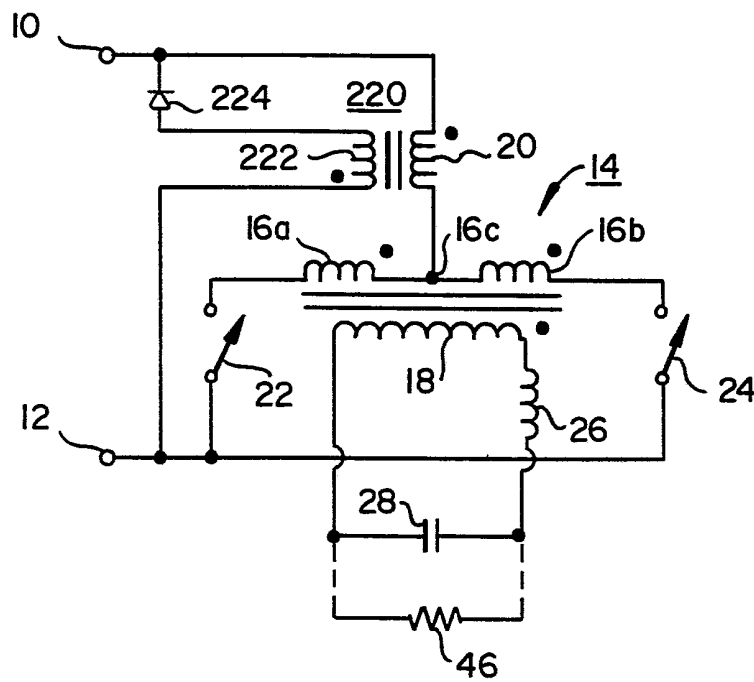
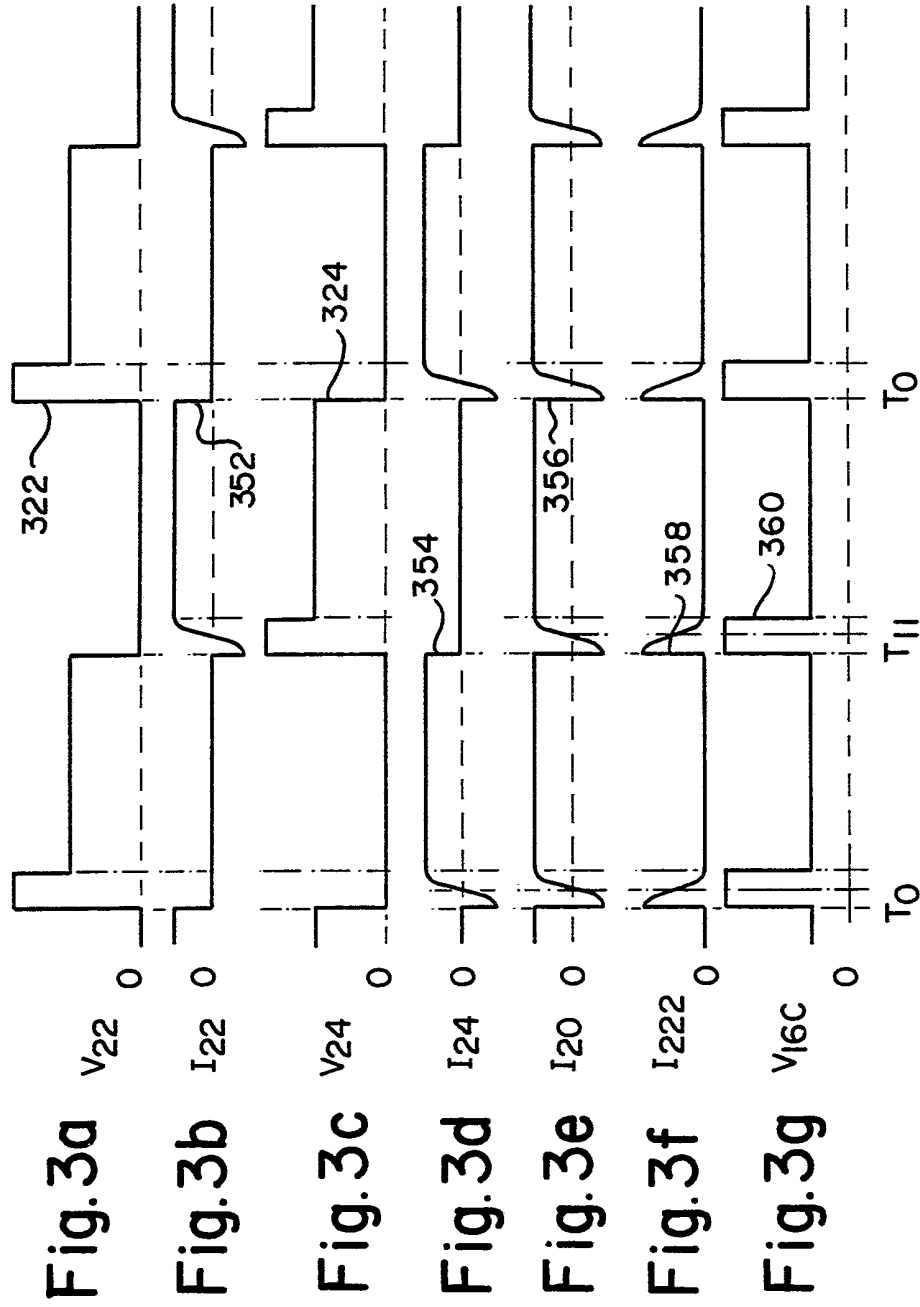
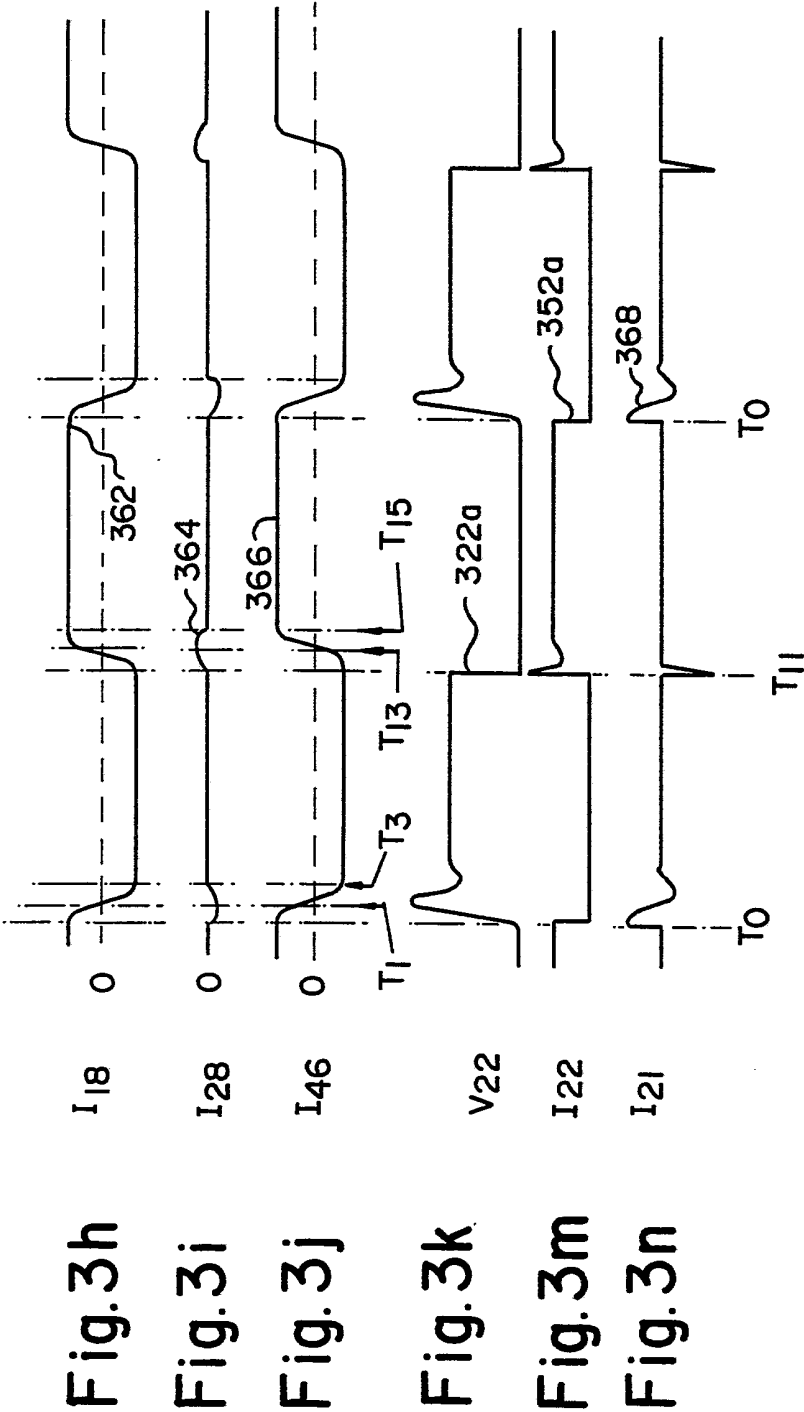


Fig. 2





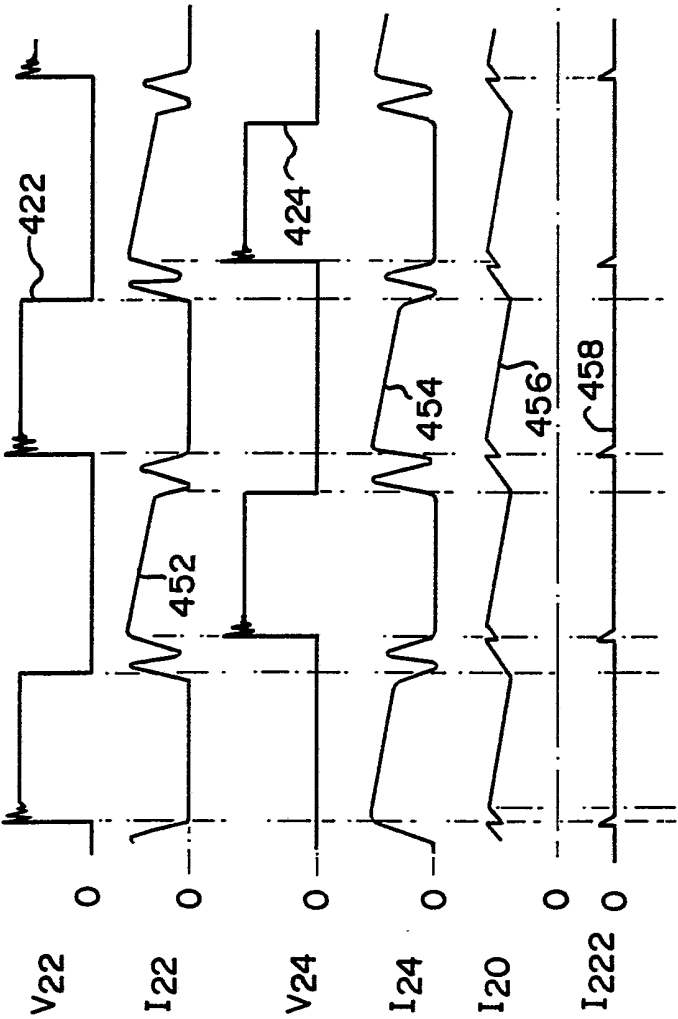


Fig. 4a

Fig. 4b

Fig. 4c

Fig. 4d

Fig. 4e

Fig. 4f

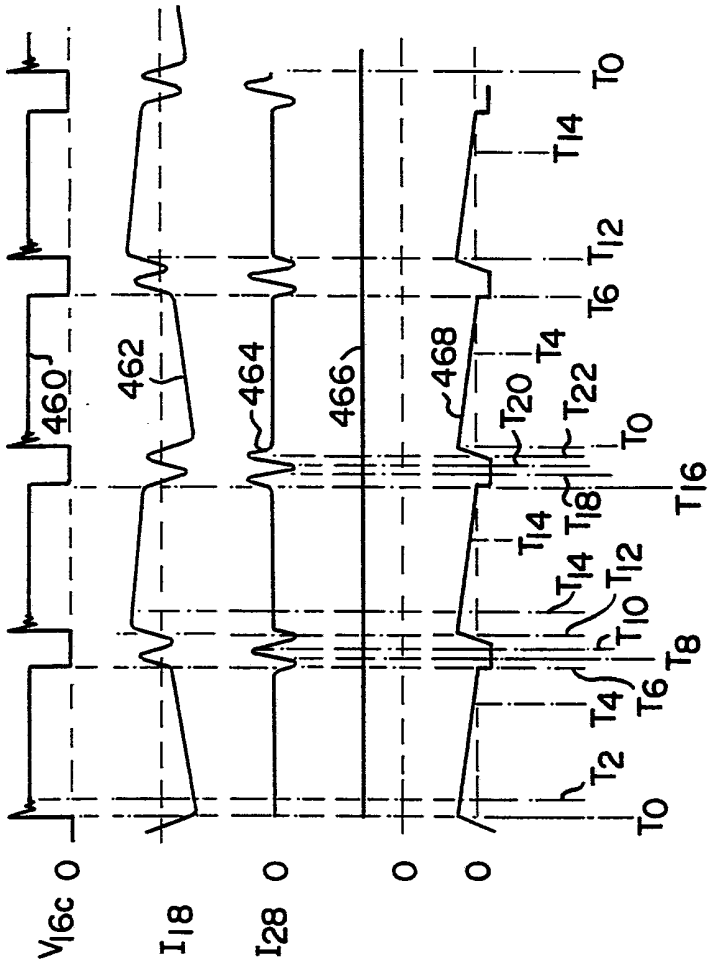


Fig. 4g

Fig. 4h

Fig. 4i

Fig. 4j

Fig. 4k

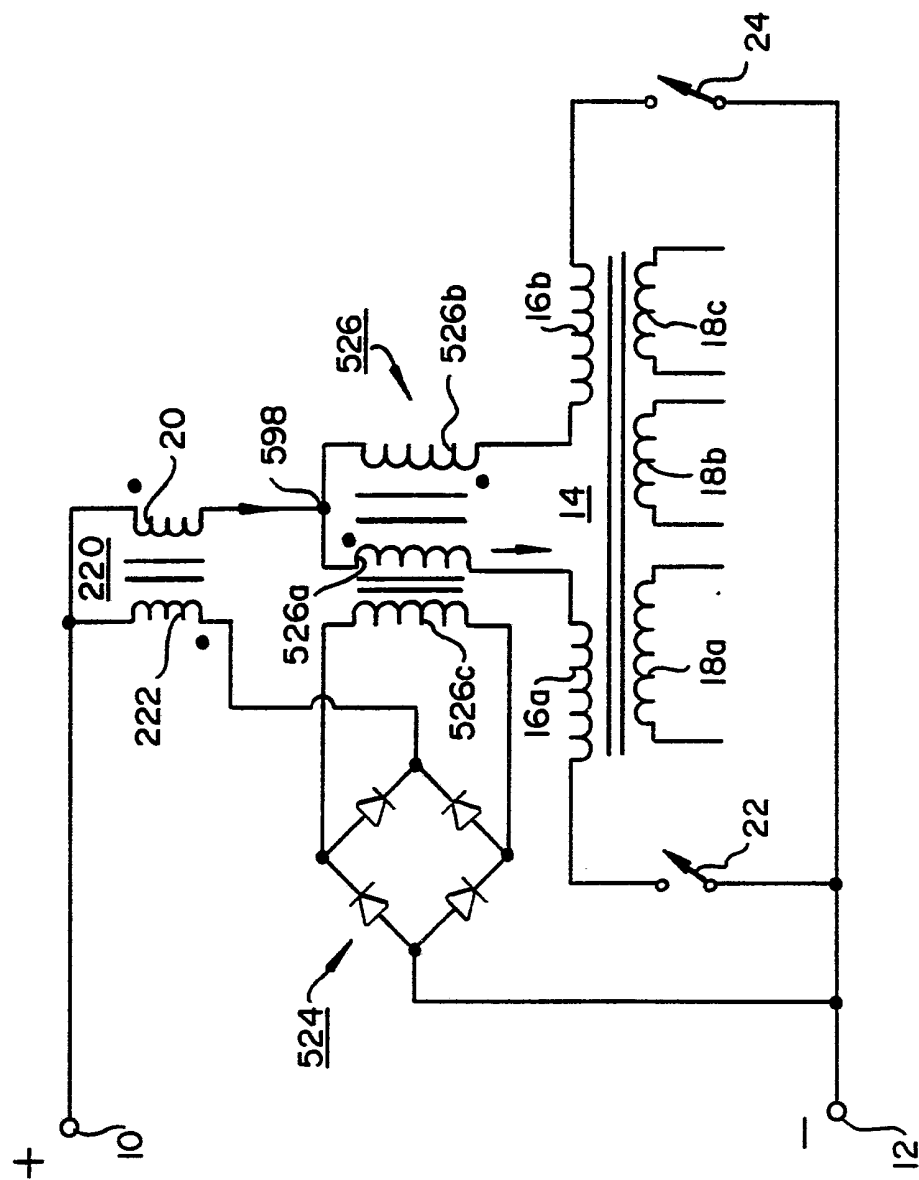


Fig. 5

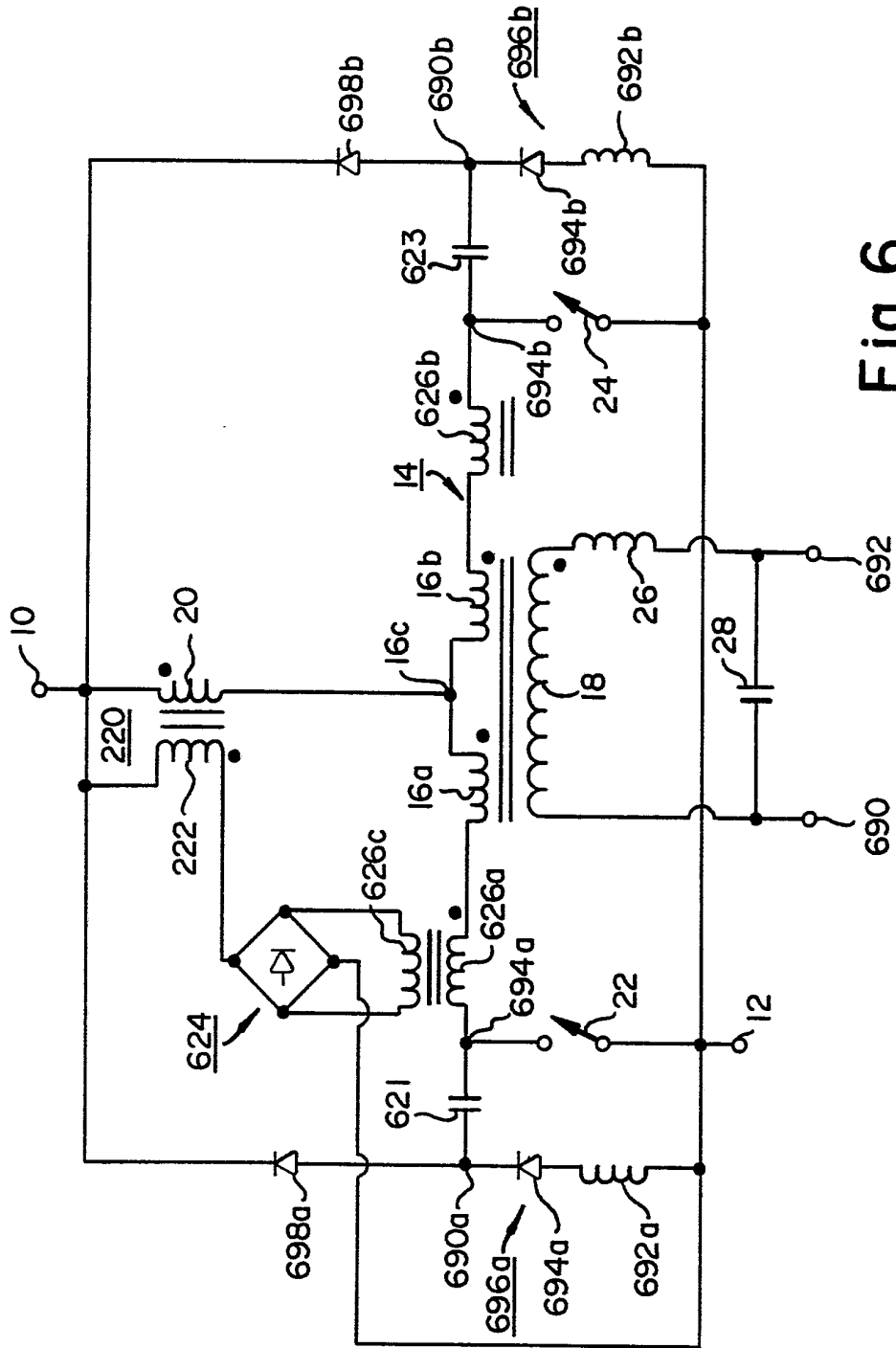


Fig. 6

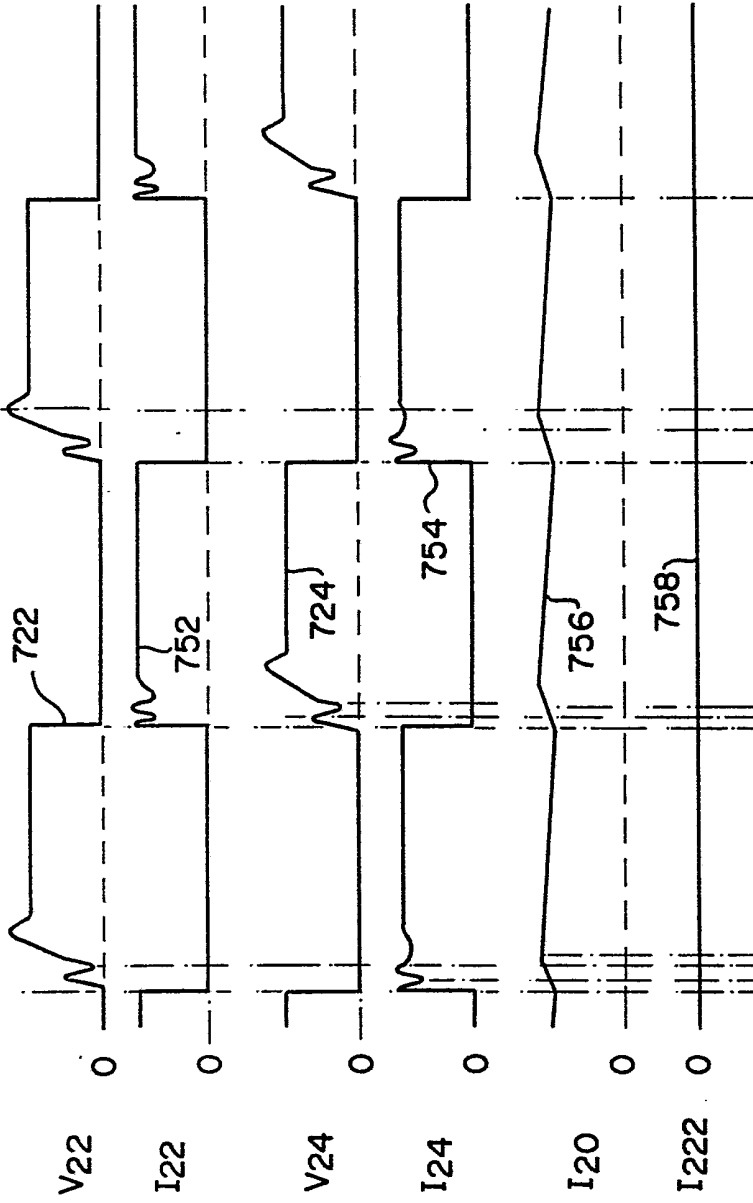


Fig. 7a

Fig. 7b

Fig. 7c

Fig. 7d

Fig. 7e

Fig. 7f

Fig. 7g

V16c

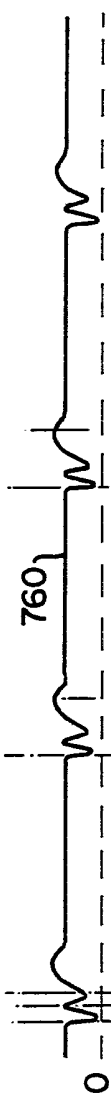


Fig. 7h

I18

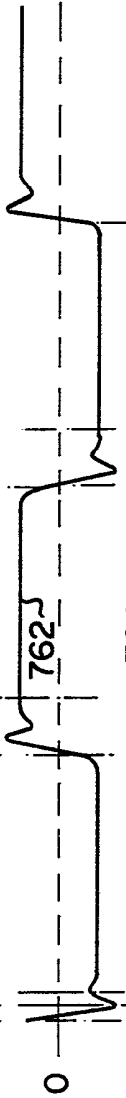


Fig. 7i

I28



Fig. 7j

V28

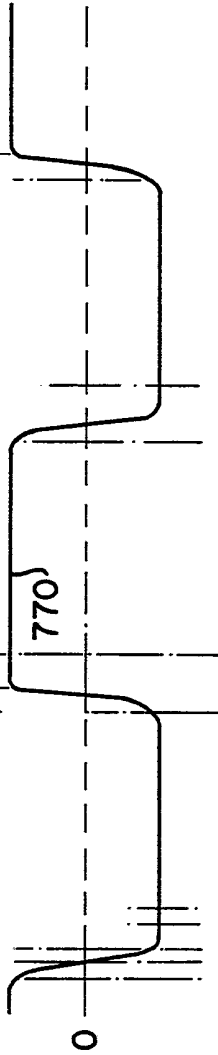


Fig. 7k

I696a

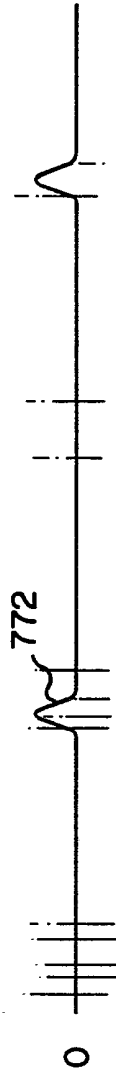


Fig. 7m

V62l

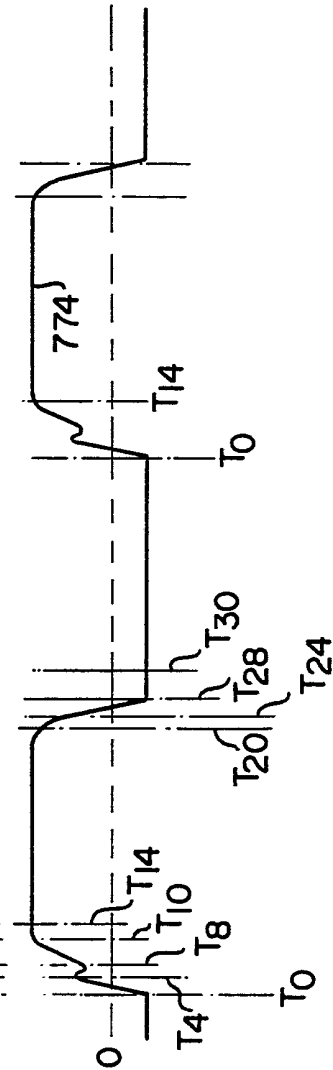


Fig.8a



Fig.8b

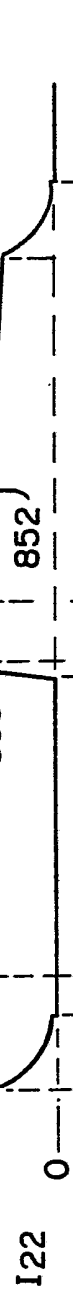


Fig.8c

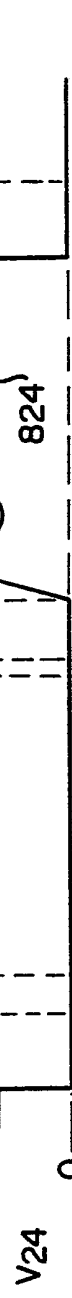


Fig.8d

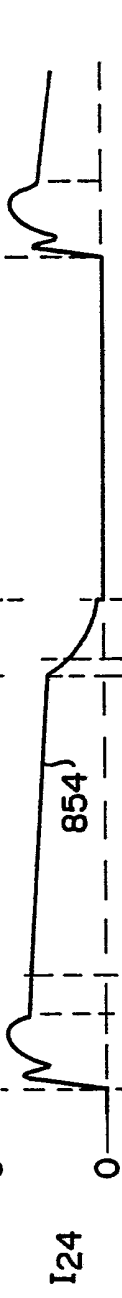


Fig.8e

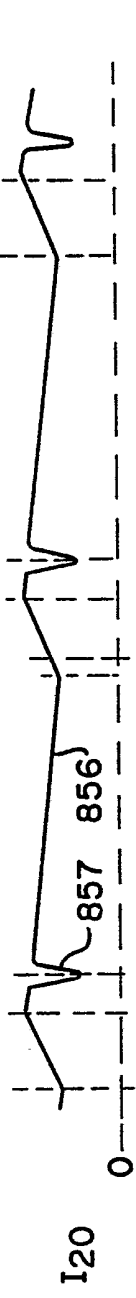


Fig.8f



Fig.8g

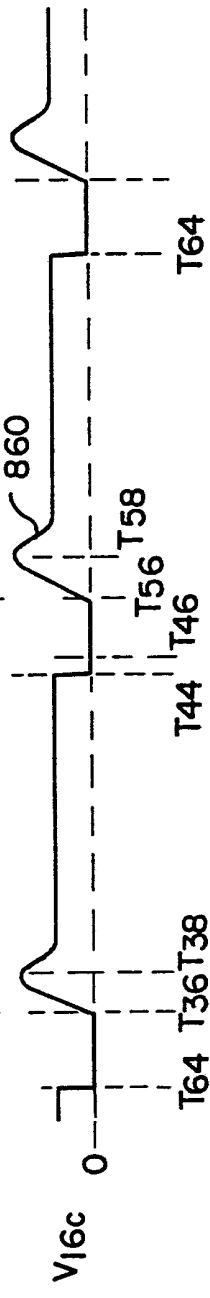


Fig. 8h

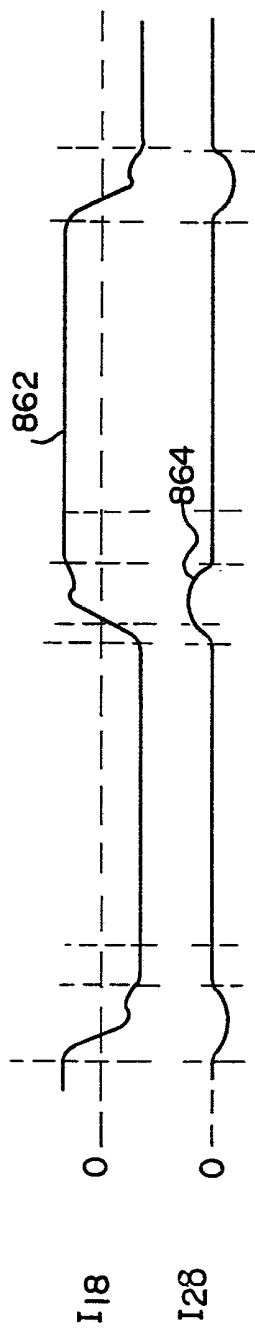


Fig. 8i

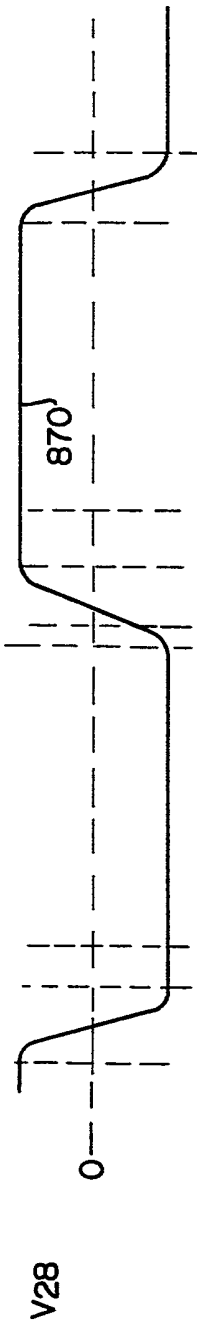


Fig. 8j

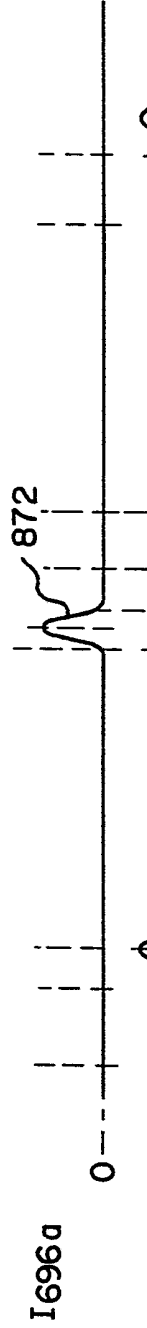


Fig. 8k

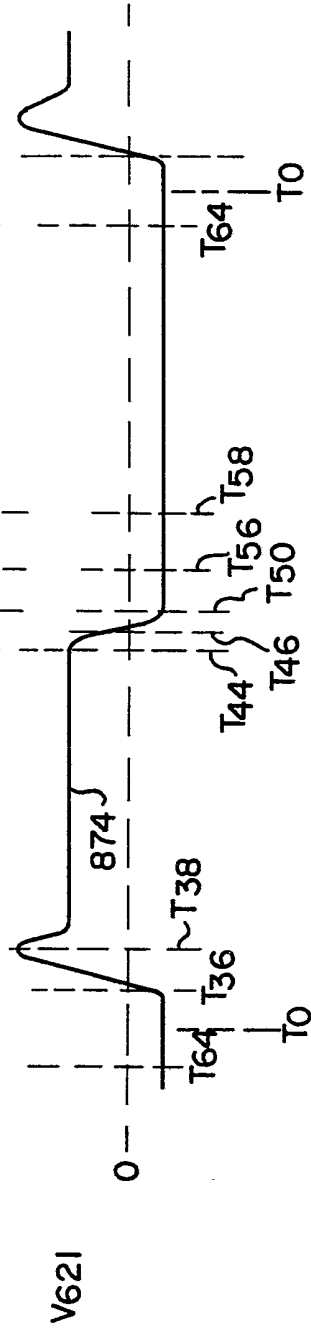


Fig. 8m

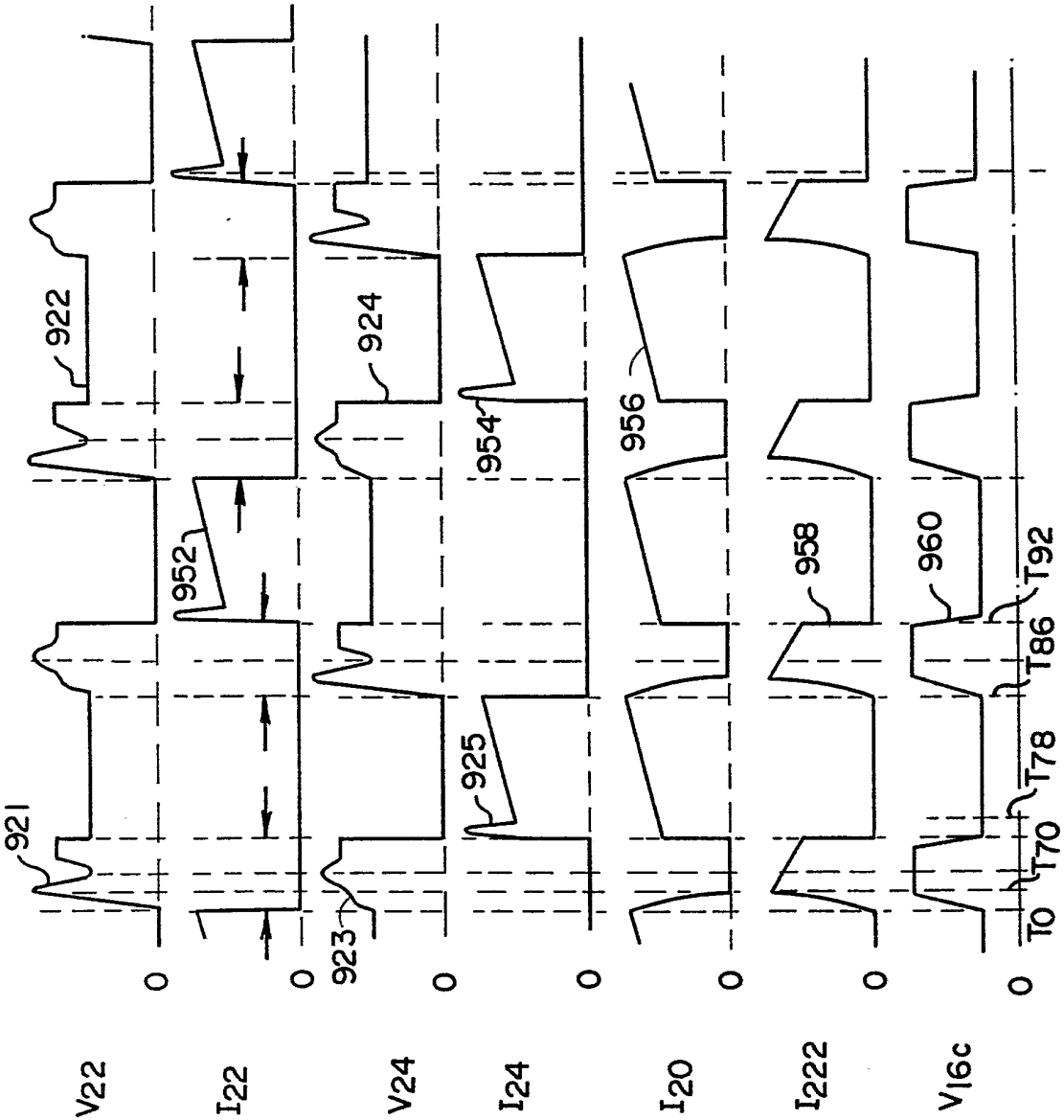


Fig. 9a

Fig. 9b

Fig. 9c

Fig. 9d

Fig. 9e

Fig. 9f

Fig. 9g

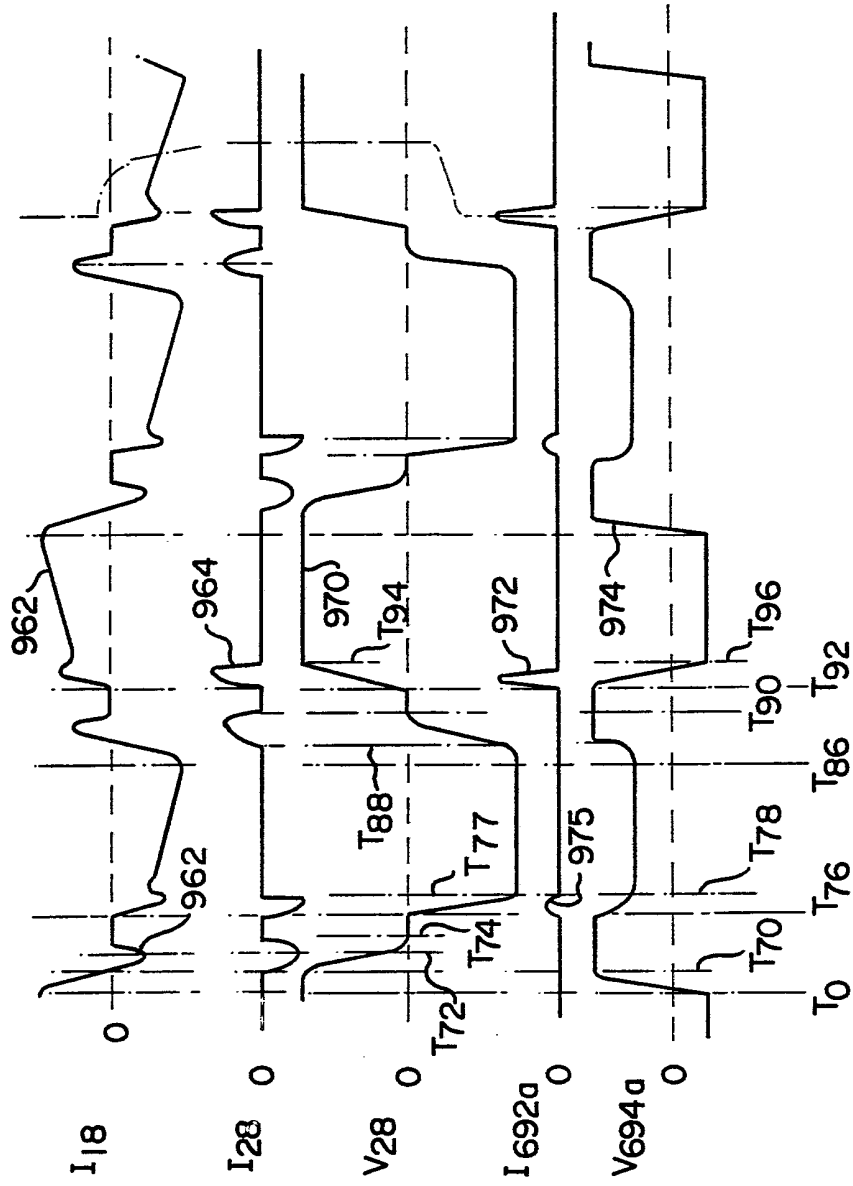


Fig. 9h

Fig. 9i

Fig. 9j

Fig. 9k

Fig. 9m

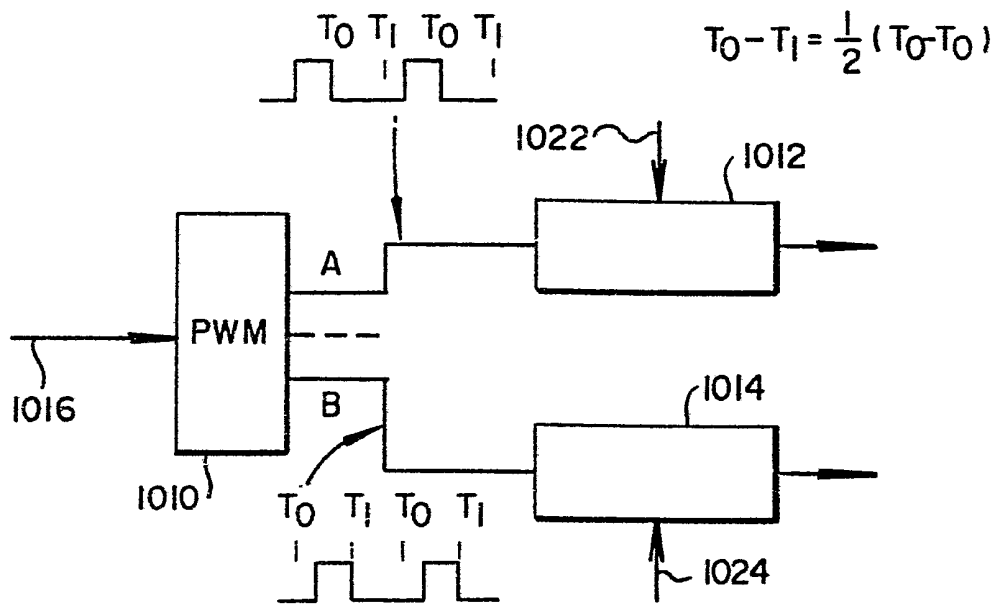


Fig. 10

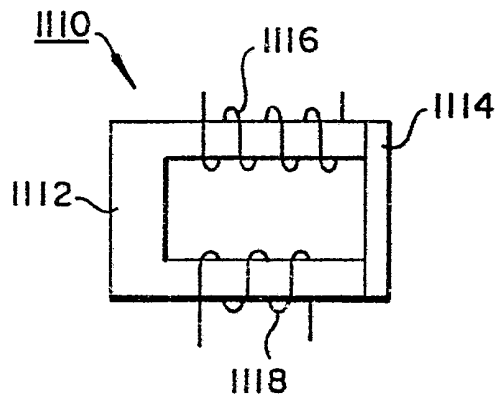


Fig. 11a

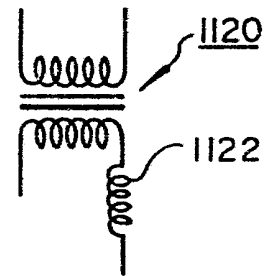


Fig. 11c

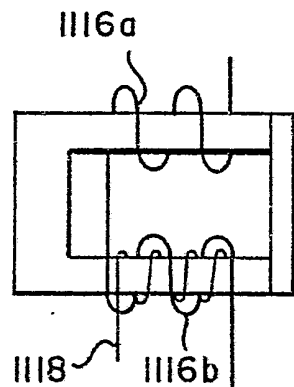


Fig. 11b