

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : **2 632 130**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : **89 06928**

51 Int Cl⁴ : H 02 J 3/46; H 02 M 1/08, 7/539.

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26 mai 1989.

30 Priorité : JP, 30 mai 1988, n° 133073/88.

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 48 du 1^{er} décembre 1989.

60 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

71 Demandeur(s) : **MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI
KAISHA** (société de droit japonais). — JP.

72 Inventeur(s) : Takao Kawabata et Jyoji Kawai, *Mitsu-
bishi Denki Kabushiki Kaisha*.

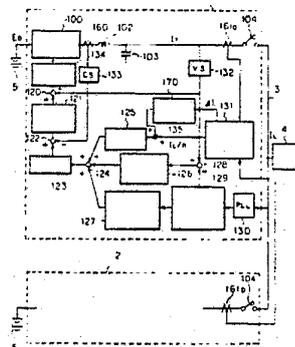
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Cabinet Malemont.

54 Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif.

57 Dans un système à convertisseurs 1, 2 fonctionnant en parallèle, raccordés à un bus commun 3 et se partageant un courant de charge, il est prévu dans chaque convertisseur un corps 100 réalisant une conversion du type commande du courant instantané, des moyens 130 fournissant une tension de référence 129, des moyens 131 déterminant le courant de charge envoyé à chaque convertisseur et délivrant un premier signal correspondant à une valeur déterminée, et des moyens 126 de commande de la tension délivrant un second signal, la somme des premier et second signaux formant valeur de commande du courant pour ledit convertisseur.

Application notamment aux systèmes à onduleurs à modulation d'impulsions en durée à haute fréquence, fonctionnant en parallèle.



FR 2 632 130 - A1

D

Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs
délivrant un courant alternatif

La présente invention concerne des moyens utilisés dans un système d'alimentation en énergie pour un fonctionnement parallèle d'une pluralité de convertisseurs 5 délivrant un courant alternatif, comme par exemple des onduleurs, raccordés à une charge commune, pour la commande de l'équilibre des courants entre les convertisseurs.

La figure 1, annexée à la présente demande, représente un schéma d'un système à fonctionnement en parallèle 10 de l'art antérieur pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif tels que décrit par exemple dans les demandes de brevets japonais publiées sous les N°53-36137 et 56-1310.

En se référant à ce schéma, on voit que le premier 15 onduleur 1 fonctionne en parallèle avec un second onduleur 2 possédant la même structure et raccordé à un bus de sortie 3 servant à envoyer l'alimentation en énergie à une charge 4. Le premier onduleur 1 est constitué principalement par un 20 corps 100, une réactance de filtrage 102 et un condensateur de filtrage 103 et est raccordé au bus de sortie 3 par l'intermédiaire d'un interrupteur de sortie 104, et est adapté de manière à convertir une énergie délivrée par une source 5 d'alimentation en énergie à courant continu en une 25 énergie à courant alternatif. Afin d'obtenir le fonctionnement en parallèle des onduleurs 1 et 2, un signal détecté I_{1a} est tout d'abord délivré par un circuit 106, à partir du courant de sortie I_1 délivré par le premier onduleur 1. Alors, la différence entre un signal détecté 30 I_{2a} , obtenu de façon similaire à partir du second onduleur 2, et le signal détecté I_{1a} , à savoir un signal ΔI correspondant au courant transversal est détecté à l'aide de moyens 107 de détection du courant transversal. Alors, deux vecteurs tension E_A et E_B , qui sont perpendiculaires entre 35 eux, sont formés par un déphaseur 108, et ces vecteurs et le

signal ΔI sont traités dans des circuits arithmétiques 109 et 110 et une composante de puissance réactive ΔQ et une composante de puissance active ΔP sont délivrées respectivement par ces circuits. L'onduleur réalise une
5 modulation d'impulsions en durée (MID) pour le corps 100 de l'onduleur à l'aide d'un circuit 113 de commande de la tension et d'un circuit 114 de modulation d'impulsions en durée, sur la base de signaux de sortie délivrés par un circuit 111 de réglage de la tension et d'un circuit de
10 réaction de tension 112, et commande de ce fait la tension produite de façon interne.

Par ailleurs, la composante de puissance réactive ΔQ est envoyée pour ainsi dire en tant que signal auxiliaire au circuit 113 de commande de la tension. En
15 réponse à cela, le circuit 113 de commande de la tension règle la tension interne produite du corps 100 de l'onduleur à quelques %, ce qui annule la composante de puissance réactive ΔQ .

D'autre part, la composante de puissance active ΔP
20 est envoyée par l'intermédiaire d'un amplificateur 115 formant un circuit PLL (boucle de verrouillage de phase) à un oscillateur de référence 105 de manière à régler de façon précise la fréquence de cet oscillateur, et par conséquent l'amplificateur 115 et l'oscillateur de référence 105
25 agissent de manière à commander la phase de la tension interne produite du corps 100 de l'onduleur, ce qui annule la composante ΔP .

Par conséquent, en commandant la tension et la phase de manière à annuler ΔQ et ΔP , le courant transversal
30 circulant entre les deux onduleurs est éliminé et on obtient une répartition stable de la charge entre ces onduleurs.

Cependant, il se pose des problèmes avec le système de l'art antérieur décrit précédemment, comme
indiqué ci-après. Un premier problème tient au fait que,
35 lorsque l'un des onduleurs fonctionnant en parallèle

s'arrête et que de ce fait la tension dans l'onduleur défaillant devient extrêmement faible ou élevée, il est possible qu'un courant transversal excessif circule dans un autre onduleur sain et provoque également la défaillance de
5 cet onduleur.

Un second problème tient au fait que, étant donné que la valeur moyenne de la phase et la valeur moyenne de la tension interne produite de l'onduleur sont réglées afin de régler le courant pour la charge de manière qu'il soit
10 partagé ou distribué entre les onduleurs et que de ce fait le partage associé du courant soit commandé de façon indirecte, il est difficile d'améliorer la vitesse ou la précision de réponse de l'opération de commande et en particulier il est impossible de commander l'affectation
15 instantanée du courant.

Un troisième problème tient au fait que la commande du courant actif et celle du courant réactif ne sont pas exécutées d'une manière indépendante et au contraire s'influencent réciproquement et, pour éviter cette
20 influence réciproque, on ne peut pas accroître beaucoup la vitesse de réponse de la commande.

Un quatrième problème consiste en ce que, lorsque les valeurs réactives des réactances des filtres des trois phases ne sont pas identiques, mais sont différentes, les
25 rapports des courants distribués deviennent différents entre les phases.

Ce système à fonctionnement en parallèle de l'art antérieur pour les onduleurs était structuré comme décrit ci-dessus et était le siège des problèmes mentionnés précé-
30 demment, le problème principal étant celui pour lequel, lorsqu'un arrêt de l'un des onduleurs se produit lors du fonctionnement en parallèle et que de ce fait la tension de l'onduleur défaillant devient extrêmement faible ou élevée, un courant transversal excessif circule dans un autre
35 onduleur sain et que de ce fait cet onduleur sain devient

également défaillant.

La présente invention a été mise au point en vue de résoudre les problèmes mentionnés précédemment.

Un but de la présente invention est de fournir un système à fonctionnement en parallèle, dans lequel, même s'il se produit une défaillance d'un onduleur faisant partie d'une pluralité d'onduleurs fonctionnant en parallèle, aucun effet nuisible dû à un courant transversal excessif n'est produit dans d'autres onduleurs sains fonctionnant en parallèle.

Un autre but de la présente invention est de fournir un système à fonctionnement en parallèle fournissant une commande à grande vitesse du courant de charge se partageant entre une pluralité d'onduleurs fonctionnant en parallèle, et aptes en outre à commander la distribution instantanée du courant.

Un autre but de la présente invention est de fournir un système à fonctionnement en parallèle, permettant d'empêcher l'interférence entre le courant actif et le courant réactif, pour améliorer de ce fait la vitesse de réponse de la commande.

Un autre but de la présente invention est de fournir un système à fonctionnement en parallèle, dans lequel il soit possible de rendre uniformes les taux de répartition du courant de charge entre une pluralité de convertisseurs fonctionnant en parallèle, en tenant compte de la capacité de chaque convertisseur.

Un autre but de la présente invention est de fournir un système à fonctionnement parallèle applicable non seulement au fonctionnement en parallèle d'onduleurs, mais également applicable d'une manière générale au fonctionnement en parallèle d'autres convertisseurs d'un type à commande instantanée.

Le système à fonctionnement en parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif, conforme à

la présente invention, n'est pas un dispositif à commande de la valeur moyenne, mais est du type onduleur MID à haute fréquence à commande de la valeur instantanée, et en outre, est structuré sur la base d'onduleurs du type à commande de la valeur instantanée du courant, comportant une boucle secondaire de courant, servant à régler la valeur instantanée du courant de sortie. La boucle secondaire de courant est adaptée pour être alimentée par une valeur de commande délivrée par une boucle principale de tension, et par une valeur de commande obtenue à partir du courant de charge, qui correspond au pourcentage du courant de charge devant être pris en charge par chaque convertisseur, en tant que valeur de commande pour le courant devant être délivré par le convertisseur afin de maintenir la tension de sortie sous la forme d'une onde sinusoïdale.

Tout en maintenant une tension sinusoïdale de bus grâce à la commande de la valeur instantanée du courant de sortie du convertisseur par sa boucle secondaire de courant, le système à fonctionnement en parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la présente invention fournit, en tant que valeur de commande envoyée à la boucle secondaire, la valeur de commande délivrée par la boucle principale de tension et la valeur de commande correspondant au pourcentage du courant de charge devant être pris en charge par chaque convertisseur, ce qui limite l'apparition d'un courant transversal dans le cas d'une défaillance intervenant dans un autre convertisseur.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description donnée ci-après prise en référence aux dessins annexés, sur lesquels:

- la figure 1 représente un schéma-bloc d'un système à fonctionnement en parallèle de l'art antérieur pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif;
- les figures 2 et 3 représentent des schémas-blocs montrant un système à fonctionnement en parallèle pour

des convertisseurs délivrant un courant alternatif conformément à une forme de réalisation de la présente invention;

- les figures 4(a) et (b) et la figure 7
5 représentent des schémas de circuits montrant une forme de réalisation d'un convertisseur destiné à être utilisé dans un système selon la présente invention;

- la figure 5 représente le schéma d'un circuit servant à détecter un courant de charge devant être réparti
10 dans le système à fonctionnement en parallèle de la figure 2;

- la figure 6 représente le schéma de circuit permettant une commande plus précise du courant devant être distribué dans le circuit de la figure 5;

15 - la figure 7 représente le schéma de circuit représentant un onduleur à haute fréquence selon une autre forme de réalisation de la présente invention; et

- la figure 8 représente un schéma permettant d'expliquer un onduleur de liaison à haute fréquence.

20 Ci-après on va décrire une forme de réalisation de la présente invention en se référant aux dessins annexés.

La figure 2 représente un schéma-bloc montrant un système à fonctionnement en parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif conformes à
25 une forme de réalisation de la présente invention. En se référant à la figure, un premier inverseur 1 fonctionne parallèlement à un second inverseur 2 non représenté, possédant la même structure, en y étant raccordé par un bus de sortie 3 servant à envoyer l'énergie à une charge 4. Les
30 parties de la figure 2, qui correspondent aux parties de la figure 1, sont désignées par les mêmes chiffres de référence. Cependant, alors que la figure 1 représente un onduleur du type commandant la valeur moyenne de la tension de sortie, la figure 2 représente un onduleur du type
35 commandant des valeurs instantanées du courant et de la

tension de sortie, et par conséquent ces circuits ne fournissent pas toujours la même fonction.

Le corps 100 de l'onduleur est formé par exemple par des transistors ou par des transistors MOSFET de puissance pouvant réaliser une commutation à haute fréquence, et chaque bras d'un onduleur en pont triphasé tel que représenté sur la figure 4(a) ou d'un onduleur à pont monophasé tel que représenté sur la figure 4(b) peut être commuté à une fréquence élevée, atteignant jusqu'à 10 à plusieurs centaines de fois la fréquence de sortie (par exemple 60 Hz). Bien que le cadencement de la commutation soit déterminé par le circuit MID, ce circuit MID est par exemple un circuit MID à comparaison onde sinusoïdale/onde triangulaire, exécutant la commutation lors de chaque intersection entre une onde porteuse triangulaire et un signal de commande de la tension de sortie.

Le présente onduleur fournit une boucle secondaire de courant et, dans cet onduleur, un circuit 121 de commande du courant envoie un signal de commande à un circuit MID 134 de sorte que le courant de sortie renvoyé par un circuit 160 et un détecteur de courant 133 peut coïncider avec une commande du courant délivrée par un limiteur 123. Etant donné qu'il existe des tensions fournies par une force contre-électromotrice à partir d'un condensateur 103 et de l'autre onduleur, à savoir le second onduleur 2, dans le bus de sortie, pour pouvoir réaliser la commande du courant de sortie, le corps 100 de l'onduleur doit produire la somme des tensions produites par la force contre-électromotrice et de la tension devant être appliquée à une réactance 102. Par conséquent la tension du bus de sortie est détectée par un détecteur de tension 132 et est ajoutée au signal de sortie du circuit 121 de régulation du courant. Ce faisant, le circuit 121 de commande du courant doit seulement commander la tension appliquée à la réactance 102 et, de ce fait, sa performance de commande s'en trouve améliorée. Par ailleurs

une boucle à verrouillage de phase PLL 130 produit une référence de tension en forme d'onde sinusoïdale 129 en synchronisme avec la tension circulant dans le bus de sortie 3. Une référence de courant de condensateur 127 produit un
5 courant sinusoïdal de référence en avance de 90° sur la référence de tension, en tant que courant devant traverser le condensateur 103 et correspondant à la capacité de ce condensateur. Un circuit 131 de détection du courant distribué dérive, à partir du courant circulant dans le premier
10 onduleur et détecté par un circuit 161a et à partir du courant circulant dans le second onduleur et détecté par le circuit 161b, la valeur instantanée du courant devant être pris en charge par chaque onduleur, à savoir I_L/n , c'est-à-dire le courant de charge I_L divisé par le nombre n
15 d'onduleurs branchés en parallèle ($n=2$ dans le cas présent).

Si les convertisseurs possèdent des capacités différentes, alors le courant devant être distribué n'est pas égal à $1/n$ fois le courant de charge, et une valeur de courant correspondant à un rapport différent entre les
20 courants distribués est dérivée conformément à la capacité des onduleurs.

Un circuit 126 de commande de la tension produit un signal du courant de correction pour l'onduleur, qui sert à corriger l'écart entre la tension de sortie et la
25 référence de tension en forme d'onde sinusoïdale 129.

Ci-après, on va décrire les opérations mises en oeuvre. Tout d'abord, en l'absence de charge, l'onduleur envoie le courant de manière qu'il circule dans le condensateur 103, ce qui établit une tension en l'absence de
30 charge. A cet instant, le circuit 126 de commande de la tension corrige l'écart de tension apparaissant en raison de l'erreur de la commande du courant ou bien en raison de l'écart entre la valeur réelle du courant traversant le condensateur 103 et la référence de courant 127 du
35 condensateur.

A cet instant, les tensions de sortie de deux onduleurs sont commandées toutes les deux par leurs boucles PLL 130, de manière à être mises en phase avec le bus de sortie 3 et sont introduites dans le fonctionnement en 5 parallèle.

Lors du branchement de la charge 4, une commande est envoyée par le circuit 131 de détection du courant distribué, à la boucle secondaire de courant de manière qu'elle prenne en charge la moitié du courant de charge I_L , 10 ce qui a pour effet que chaque onduleur prend en charge la moitié du courant de charge I_L . Ici, un limiteur 125 limite la surintensité, comme par exemple un courant d'appel, de manière à ce que cet état de surintensité ne se prolonge pas lors du branchement de la charge, et un limiteur 123 est 15 utilisé pour limiter la valeur finale de commande du courant de manière qu'elle soit inférieure à une valeur admissible pour l'onduleur.

Lorsqu'on agence le système à fonctionnement en parallèle de la manière décrite précédemment, l'onduleur 20 protégé vis-à-vis d'une surintensité par sa propre boucle secondaire de courant, peut maintenir la tension de sortie sous la forme d'une onde sinusoïdale grâce à une réponse rapide à des déformations ou à des variations brusques du courant de charge. Ce qui est caractéristique de ce système, 25 c'est que la commande telle que décrite précédemment est exécutée à chaque instant de commutation dans l'onduleur MID à haute fréquence et que l'on obtient par conséquent une réponse très rapide. Lorsqu'on utilise une fréquence de commutation de 10 kHz par exemple, la commande est exécutée 30 toutes les 100 μ s et par conséquent un phénomène transitoire, dû à une perturbation extérieure comme par exemple une variation brusque de la charge, peut être éliminée en l'espace d'environ 10 fois 100 μ s, ce qui permet d'obtenir une excellente performance de commande.

35 Bien que ceci soit une technique bien connue, on

va décrire ci-après un exemple concret de la détection du courant distribué, en se référant à la figure 5. On considère le cas où un courant de charge de 300 A est pris en charge par trois onduleurs, à savoir sous la forme d'un
5 courant $I_1 = 90$ A pris en charge par l'onduleur INV-1, un courant $I_2 = 100$ A pris en charge par l'onduleur INV-2 et un courant $I_3 = 110$ A pris en charge par l'onduleur INV-3, ce qui fait apparaître des tensions égales respectivement à 9 V, 10 V et 11 V aux bornes des résistances de charge R_{11} ,
10 R_{21} et R_{31} pour les circuits CT-1, CT-2 et CT-3. Il s'est développé une tension $(9+10+11)/3 = 10$ V aux bornes de chacune des résistances R_{12} , R_{22} et R_{32} , qui possèdent des valeurs résistives suffisamment supérieures à celles des résistances R_{11} , etc. Cette tension correspond à $1/3$ du
15 courant de charge et de la valeur du courant être pris en charge par chaque onduleur, et par conséquent ce signal séparé peut être introduit dans le circuit de commande. Dans la description qui précède, on a négligé, à titre de simplification, le fait que les courants sont des quantités
20 vectorielles, mais on obtient la même relation lorsque l'on tient compte de ce fait.

Lorsqu'il faut arrêter par exemple l'onduleur INV-1, tout d'abord on ferme un contacteur S_{12} , auquel cas la tension aux bornes des résistances R_{22} et R_{32} devient égale
25 à 15 V et la charge est prise en charge dans son ensemble par les deux autres onduleurs. Ensuite, on ferme un contacteur S_{12} et simultanément on ouvre l'interrupteur de sortie de l'onduleur de sorte que ce dernier n'est plus branché en parallèle.

30 Dans le circuit de la figure 5 on obtient, par exemple aux bornes de la résistance R_{11} , un signal correspondant au courant pris en charge par l'onduleur INV-1 et aux bornes de la résistance R_{12} on obtient un signal correspondant au courant devant être pris en charge par
35 l'onduleur INV-1. En outre, entre le point X_1 et le point

X_2 , on obtient une tension correspondant à la variation ΔI du courant véhiculé par l'onduleur INV-1. Par conséquent, en prévoyant en supplément un circuit tel que représenté sur la figure 6 pour isoler et amplifier le signal ΔI entre les points X_1 et X_2 et en envoyant ce signal à un additionneur 132 représenté sur la figure 2, la variation du courant pris en charge peut être réduite de façon supplémentaire. Il est évident que, lorsqu'on augmente de façon supplémentaire le gain du circuit de la figure 6, il est possible d'obtenir une répartition ou distribution équilibrée de la charge, même si on n'utilise pas le circuit servant à délivrer, selon un mode de couplage direct sur la figure 2, le courant de commande distribué à partir du circuit 131 de détection du courant distribué, sur la figure 2. Cette idée peut être également mise en oeuvre pour la forme de réalisation de la figure 3.

Le système de commande de la figure 2, décrit précédemment, est applicable à la fois à des onduleurs monophasés et à des onduleurs triphasés et il est applicable non seulement à des onduleurs, mais également à d'autres convertisseurs pouvant être commandés instantanément, comme par exemple des cycloconvertisseurs.

On va décrire ci-après, en référence à la figure 3, un système utilisant un système de coordonnées à rotation synchrone comportant des axes d-q et qui fournit de meilleures caractéristiques pour le fonctionnement d'onduleurs triphasés et de convertisseurs.

La configuration de la figure 3 est quasiment la même que celle de la figure 2, mais en diffère grandement dans le fait qu'elle comporte trois convertisseurs triphasé-biphasé 141,142,143 et un convertisseur biphasé-triphasé 140. Un circuit 150 délivrant un signal sinusoïdal triphasé et une boucle PLL 151 synchronisant le circuit sur la tension du bus de sortie délivrent les six signaux suivants sous la forme de signaux sinusoïdaux triphasés, en tant que

références pour la transformation pertinente des coordonnées.

$$\begin{aligned}
 S_U &= \sqrt{2/3} \sin(\omega t + \psi) \\
 S_V &= \sqrt{2/3} \sin(\omega t - 2\pi/3 + \psi) \\
 S_W &= \sqrt{2/3} \sin(\omega t + 2\pi/3 + \psi) \\
 C_U &= \sqrt{2/3} \cos(\omega t + \psi) \\
 C_V &= \sqrt{2/3} \cos(\omega t - 2\pi/3 + \psi) \\
 C_W &= \sqrt{2/3} \cos(\omega t + 2\pi/3 + \psi)
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \dots(1)$$

(ψ étant habituellement réglé à $\psi = 0$).

Si les signaux triphasés du détecteur de courant 133, du circuit 131 de détection du courant distribué et du détecteur de tension 132 sont représentés par l'expression $\bar{X} = \text{col}[X_U, X_V, X_W]$, en multipliant cette expression par la matrice de transformation C suivante, ces signaux sont convertis en des signaux à courant continu $Y = \text{col}[Y_d, Y_q]$ le long des axes d-q, comme suit :

$$\bar{C} = \begin{pmatrix} S_U & S_V & S_W \\ C_U & C_V & C_W \end{pmatrix} \dots(3)$$

$$\hat{Y} = \begin{pmatrix} Y_d \\ Y_q \end{pmatrix} = \bar{C} \bar{X} = \begin{pmatrix} S_U & S_V & S_W \\ C_U & C_V & C_W \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_U \\ X_V \\ X_W \end{pmatrix} \dots(4)$$

Le symbole $\bar{\quad}$ au-dessus du caractère indiquant une matrice et le symbole $\hat{\quad}$ indiquant des grandeurs vectorielles le long des axes d-q. Lors d'une telle transformation, si les commandes de la tension de sortie de l'onduleur sont exprimées par

$$\bar{V}_c^* = \sqrt{2} E \begin{pmatrix} \sin \omega t \\ \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{pmatrix} \dots(5)$$

leurs valeurs le long des axes d-q étant donnée par

$$\hat{V}_c^* = \begin{pmatrix} V_{cd}^* \\ V_{cq}^* \end{pmatrix} = \bar{C} \bar{V}_c^* = \begin{pmatrix} \sqrt{3} E \\ 0 \end{pmatrix} \dots(6)$$

En outre, si l'on désigne par C_p la capacité du condensateur 103, les courants de commande \hat{I}_c^* pour les courants devant être transmis sont exprimés par

$$\hat{I}_c^* = \begin{pmatrix} I_{cd}^* \\ V_{cq}^* \end{pmatrix} = \bar{C} \bar{I}_c^* = C \sqrt{2} \omega C_p E$$

$$\begin{pmatrix} \cos \omega t \\ \cos (\omega t - 2\pi/3) \\ \cos (\omega t + 2\pi/3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \omega C_p E \end{pmatrix} \quad \dots(7)$$

Par conséquent un signal sinusoïdal triphasé devient une constante en courant continu le long des axes d-q. Contrairement à la commande du système triphasé comportant les phases U-V-et W-de la figure 2, dans lequel des erreurs sont susceptibles de se produire même dans le cas de l'état normal, étant donné qu'on a une valeur variable dans le système de commande, on peut obtenir une commande produisant sensiblement de petites erreurs dans le présent système de commande, qui est un système de commande d'une valeur constante.

Lorsqu'on utilise le système usuel de comparaison onde sinusoïdale-onde triangulaire pour la modulation MID, il devient nécessaire à cet effet de disposer des signaux du système triphasé comportant les phases U-,V-et W-.Par conséquent, on multiplie les signaux de commande par la matrice de transformation inverse suivante (8) pour ramener ces signaux à nouveau dans le système triphasé, ces signaux étant alors envoyés au circuit MID.

$$\bar{C}^{-1} = \begin{pmatrix} S_U & C_U \\ S_V & C_V \\ S_W & C_W \end{pmatrix} \quad \dots(8)$$

Dans les formes de réalisation décrites précédemment et basées sur les figures 2 et 3, la capacité de commande est conçue de manière à être améliorée grâce à l'envoi, en tant que valeur de commande pour la boucle secondaire du courant, la valeur de courant devant être transmise à travers le condensateur branché en parallèle, dans le filtre de sortie de l'onduleur, mais la référence de courant du condensateur sur les figures 2 et 3 peut être supprimée. Ceci est dû au fait que le circuit 126 de commande de la tension fonctionne de telle sorte que la tension de sortie peut

coïncider avec la référence de tension sinusoïdale 129 et il en résulte que ceci fournit un signal remplaçant le signal de la référence de courant 126 du condensateur, ce qui permet d'obtenir un système fonctionnant uniformément en tant
5 que système de commande pour l'onduleur à ondes sinusoïdales. Dans un tel cas, un facteur d'amplification suffisamment élevé du circuit 126 de commande de la tension réduit la variation de la commande de tension.

Bien que, dans la description qui précède, on a
10 donné des explications concernant le cas où la présente invention était utilisée pour le fonctionnement en parallèle d'onduleurs, le même principe peut être appliqué à d'autres convertisseurs de courant pouvant être commandés instantanément, comme par exemple un convertisseur de liaison à haute
15 fréquence tel que représenté sur la figure 7 et constitué par une combinaison d'onduleurs à haute fréquence et de cycloconvertisseurs, dans lesquels l'énergie à courant continu est convertie en une onde rectangulaire à haute fréquence et en outre en une onde sinusoïdale à basse fréquence.

20 Dans les convertisseurs représentés sur la figure 7, on obtient une onde rectangulaire telle que représentée sur la figure 8(a) au moyen d'une commutation de transistors Q1 à Q4 sur le côté secondaire du transformateur TR. Alors, on obtient la production d'une onde en dents de scie syn-
25 chronisée sur la commutation de l'onduleur comme représenté sur la figure 8(b), et on obtient des intersections de cette onde avec le signal de commande de tension de sortie tel qu'indiqué par la courbe X_1-X_2 sur la figure, comme représenté sur la figure 8(c). Alors, en sélectionnant des
30 interrupteurs du cycloconvertisseur comme indiqué sur la figure 8(e) en fonction de la polarité de ce signal et de la tension RS de l'onduleur, on obtient la tension correspondant au signal X_1-X_2 tel que représenté sur la figure 8(d), entre N et P sur la figure 7.

35 Comme cela ressort à l'évidence de l'explication

donnée précédemment, le circuit de la figure 7 est un circuit permettant d'obtenir une tension MID monophasée équivalente à celle de la figure 4(b). En outre, dans le cas de la délivrance d'un signal de sortie triphasé, on peut
5 utiliser un tel convertisseur de liaison triphasé à haute fréquence utilisant trois ensembles tels que celui placé sur le côté secondaire du transformateur TR de la figure 7. Le principe illustré sur les figures 2 et 3 peut être mis en oeuvre au moyen d'un circuit discret incluant un
10 amplificateur opérationnel analogique, etc, ou bien au moyen d'un traitement en logiciel à l'aide d'une commande numérique utilisant un microprocesseur ou un processeur de traitement de signaux numériques.

Bien que l'explication ait été donnée ci-dessus en
15 référence à deux onduleurs possédant la même capacité, d'une manière abrégée, l'invention peut être également appliquée à un fonctionnement en parallèle de n convertisseurs possédant des capacités différentes. Dans un tel cas, chacun des convertisseurs peut prendre en charge le pourcentage, qui
20 lui est affecté, de la charge, proportionnellement à sa capacité, lorsqu'on modifie les circuits CT-1,CT-2,CT-3, etc. et les résistances R_{11}, R_{21}, R_{31} , etc conformément aux capacités et que les mêmes tensions apparaissent aux bornes R_{11}, R_{21}, R_{31} , etc. lorsque le courant nominal circule.

25 Bien qu'on utilise deux limiteurs 123 et 125 dans les formes de réalisation des figures 2 et 3, on peut omettre le limiteur 125 en laissant subsister uniquement le limiteur 123 ou, même si on utilise aucun des limiteurs 123 et 125, on peut utiliser la limite de saturation de
30 l'amplificateur pour le limiteur.

Comme on le comprendra à partir de la description qui précède, le présent système à fonctionnement en parallèle présente les caractéristiques suivantes. Tout d'abord, le courant de sortie du convertisseur est limité
35 par la valeur de commande envoyée à la boucle secondaire de

courant et par conséquent, même si le signal de sortie d'un autre convertisseur varie brusquement en raison de sa défaillance ou analogue, il n'est pas possible d'avoir une défaillance du convertisseur sain sous l'effet d'un courant

5 transversal circulant dans ce convertisseur. En second lieu, étant donné que la valeur instantanée du courant de sortie du convertisseur est commandée directement dans le présent système, il est possible d'obtenir une réponse rapide au courant distribué et une commande précise de ce courant.

10 Pourvu que la fréquence de commutation du convertisseur soit suffisamment élevée, on peut obtenir une excellente commande du courant distribué, même pendant un phénomène transitoire, étant donné que le courant distribué peut être commandé instantanément pendant la durée de chaque période de

15 commutation. En troisième lieu, dans le cas de fonctionnement en triphasé, on peut régler un système de commande selon les axes d-q de manière à obtenir un système de commande non interactif apte à réaliser une commande à réponse rapide à la fois le long de l'axe d et le le long de

20 l'axe q. En quatrième lieu, étant donné que la valeur I_s du filtre de sortie est incluse dans la boucle secondaire du courant, même si les valeurs ne sont pas identiques entre les trois phases, la variation peut être compensée.

La présente invention, qui présente de nombreuses

25 caractéristiques telles que mentionnées précédemment, est adaptée pour fournir une tension sinusoïdale, tout en permettant un fonctionnement en parallèle du convertisseur avec une boucle secondaire de courant commandant la valeur instantanée du courant de sortie, et par conséquent la présente

30 invention a pour effet de limiter des surintensités comme par exemple un courant d'appel provenant de la charge ou un courant transversal dû à une variation de la tension dans un autre convertisseur, en raison de sa brusque défaillance. C'est pourquoi on peut réaliser un système hautement fiable.

REVENDICATIONS

1. Système à convertisseur parallèle servant à faire fonctionner en parallèle une pluralité de convertisseurs à onde sinusoïdale (1,2), dont chacun comporte un filtre et dont les sorties sont raccordées à un bus commun (3) et se partagent un courant de charge qui leur est distribué, caractérisé en ce que ledit système à fonctionnement parallèle comprend, dans chaque convertisseur:

un corps (100) du convertisseur exécutant une conversion du type commande du courant instantané, au moyen d'une branche de chaque base constituant le corps du convertisseur et exécutant une pluralité d'opérations de commutation pendant la durée d'un cycle de manière à commander une valeur instantanée d'un courant de sortie;

des moyens (130) servant à établir une référence de tension de sortie sinusoïdale (129) synchronisée avec une tension du bus de charge;

des moyens (131) servant à déterminer la répartition d'un courant de charge devant être pris en charge par chaque convertisseur sur la base d'une valeur détectée du courant de charge et servant à délivrer un premier signal correspondant à une valeur déterminée; et

des moyens (126) de commande de la tension, servant à introduire une erreur entre la tension du bus de charge et ladite référence de tension de sortie sinusoïdale et délivrant un second signal servant à corriger l'erreur, la somme desdits premier et second signaux étant utilisée comme valeur de commande du courant pour ledit convertisseur.

2. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens de réglage de la référence de courant d'un condensateur (103) servant à régler une valeur de courant obtenue à partir d'une référence de tension de sortie

sinusoïdale, en tant que valeur d'un courant devant être transmise par un condensateur parallèle (103) d'un filtre dudit convertisseur, correspondant à une capacité du condensateur parallèle et délivrer la valeur déterminée en tant que valeur de commande du courant, cette valeur de commande du courant et la somme desdits premier et second signaux étant additionnées de manière à fournir une valeur synthétisée de commande du courant.

3. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 1, dans lequel le corps (100) dudit convertisseur est constitué par des éléments permettant de réaliser une commutation à haute fréquence.

4. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit convertisseur (1,2) possède une boucle secondaire de courant comprenant le corps (100) du convertisseur, un circuit MID (134), un détecteur de tension (132) et un détecteur de courant (131).

5. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit convertisseur comporte un premier limiteur (125) servant à limiter des surintensités comme par exemple le courant d'appel au moment du démarrage de la charge de manière à supprimer ce courant, et un second limiteur (123) servant à limiter la valeur finale de commande du courant à une valeur inférieure à une valeur admissible pour l'onduleur.

6. Système à convertisseur parallèle servant à faire fonctionner en parallèle une pluralité de convertisseurs triphasés sinusoïdaux (1,2) qui contiennent chacun un filtre triphasé et se partagent un courant de charge distribué et dont les sorties sont raccordées à un bus commun triphasé (3), caractérisé en ce que ce système comprend, dans chaque convertisseur :

un corps de convertisseur triphasé (100) exécutant une conversion du type commande du courant instantané, au moyen d'une branche de chaque phase constituant le corps du convertisseur et exécutant une pluralité d'opérations de commutation pendant la durée d'un cycle de manière à commander une valeur instantanée d'un courant de sortie ;

des moyens (151) servant à établir une référence de tension de sortie sinusoïdale triphasée synchronisée avec une tension d'un bus de charge (3) ;

des moyens (131) pour déterminer la répartition d'un courant de charge triphasé devant être pris en charge par chaque convertisseur sur la base d'une valeur détectée du courant de charge et délivrer un premier signal triphasé correspondant à une valeur déterminée ; et

des moyens (126) de commande de la tension servant à introduire une erreur entre la tension du bus de charge triphasé et ladite référence de tension de sortie sinusoïdale triphasée et délivrant un second signal triphasé servant à corriger l'erreur, la somme desdits premier et second signaux triphasés étant utilisée comme valeur de commande du courant triphasé pour ledit convertisseur.

7. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens de réglage de la référence de courant triphasé d'un condensateur (103) servant à régler une valeur de courant obtenue à partir d'une référence de tension de sortie sinusoïdale triphasée, en tant que valeur d'un courant devant être transmise par des condensateurs parallèles (103) d'un filtre triphasé dudit convertisseur, correspondant à une capacité du condensateur parallèle et délivrer la valeur déterminée triphasée en tant que valeur de commande du courant, cette valeur de commande du courant et la somme desdits premier et second signaux triphasés étant additionnées de manière à fournir une valeur synthétisée de commande du courant triphasé.

8. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant de sortie alternatif selon la revendication 6, dans lequel ledit corps de convertisseur triphasé (100) est constitué par des éléments permettant de réaliser une commutation à haute fréquence.

9. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit convertisseur (1,2) possède une boucle secondaire de courant comprenant le corps (100) du convertisseur, un circuit MID triphasé (134), des détecteurs de tension (132) et des détecteurs de courant (131).

10. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit convertisseur comporte un premier limiteur (125) servant à limiter des surintensités comme par exemple le courant d'appel au moment du démarrage de la charge de manière à supprimer ce courant, et un second limiteur (123) servant à limiter la valeur finale de commande du courant à une valeur inférieure à une valeur admissible pour l'onduleur.

11. Système à convertisseur parallèle servant à faire fonctionner en parallèle une pluralité de convertisseurs à onde sinusoïdale (1,2), dont chacun comporte un filtre et dont les sorties sont raccordées à un bus commun (3) et se partagent un courant de charge qui leur est distribué, caractérisé en ce que ledit système à fonctionnement parallèle comprend, dans chaque convertisseur:

un corps (100) du convertisseur exécutant une conversion du type commande du courant instantané, au moyen d'une branche de chaque phase constituant le corps du convertisseur et exécutant une pluralité d'opérations de commutation pendant la durée d'un cycle de manière à commander une valeur instantanée d'un courant de sortie;

des moyens (130) servant à établir une référence de tension de sortie sinusoïdale (129) synchronisée avec une

tension du bus de charge;

des moyens (131) servant à déterminer la répartition d'un courant de charge devant être pris en charge par chaque convertisseur sur la base d'une valeur détectée du courant de charge et servant à délivrer un premier signal
5 correspondant à une valeur déterminée;

des moyens utilisant ledit signal sinusoïdal triphasé synchronisé avec ladite tension du bus de charge pour convertir cette tension et ledit premier signal en deux
10 composantes le long d'axes d et q constituant un système de coordonnées à rotation synchrone;

des moyens pour établir une référence d'une composante de la tension de sortie le long de l'axe d et une référence de la composante de la tension de sortie le long
15 de l'axe q; et

des moyens (126) de commande de la tension introduisant des erreurs entre lesdites références de tension de sortie le long des axes d et q et lesdites composantes de la tension de charge du bus le long des axes
20 d et q de manière à obtenir un second signal servant à corriger lesdites erreurs à la fois le long des axes d et q, la somme desdits premier et second signaux étant obtenues le long de l'axe d et de l'axe q et la somme étant envoyée en tant que valeur de commande du courant suivant l'axe d et
25 suivant l'axe q pour ledit convertisseur.

12. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens de réglage de la référence de courant du condensateur (103) servant à régler une valeur de courant
30 obtenue à partir d'une référence de tension de sortie sinusoïdale, en tant que valeur d'un courant devant être transmise par un condensateur parallèle (103) d'un filtre dudit convertisseur, correspondant à une capacité du
35 condensateur parallèle et délivrer la valeur déterminée en

tant que valeur de commande du courant, cette valeur de commande du courant et la somme desdits premier et second signaux étant additionnées de manière à fournir une valeur synthétisée de commande du courant.

5 13. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant de sortie alternatif selon la revendication 11, dans lequel le corps (100) dudit convertisseur est constitué par des éléments permettant de réaliser une commutation à haute fréquence.

10 14. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit convertisseur (1,2) possède une boucle secondaire de courant comprenant le corps (100) du convertisseur, un circuit MID (134), un
15 détecteur de tension (132) et un détecteur de courant (131).

 15. Système à fonctionnement parallèle pour des convertisseurs délivrant un courant alternatif selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit convertisseur comporte un premier limiteur (125) servant à limiter des
20 surintensités comme par exemple le courant d'appel au moment du démarrage de la charge de manière à supprimer ce courant, et un second limiteur (123) servant à limiter la valeur finale de commande du courant à une valeur inférieure à une valeur admissible pour l'onduleur.

FIG. 1

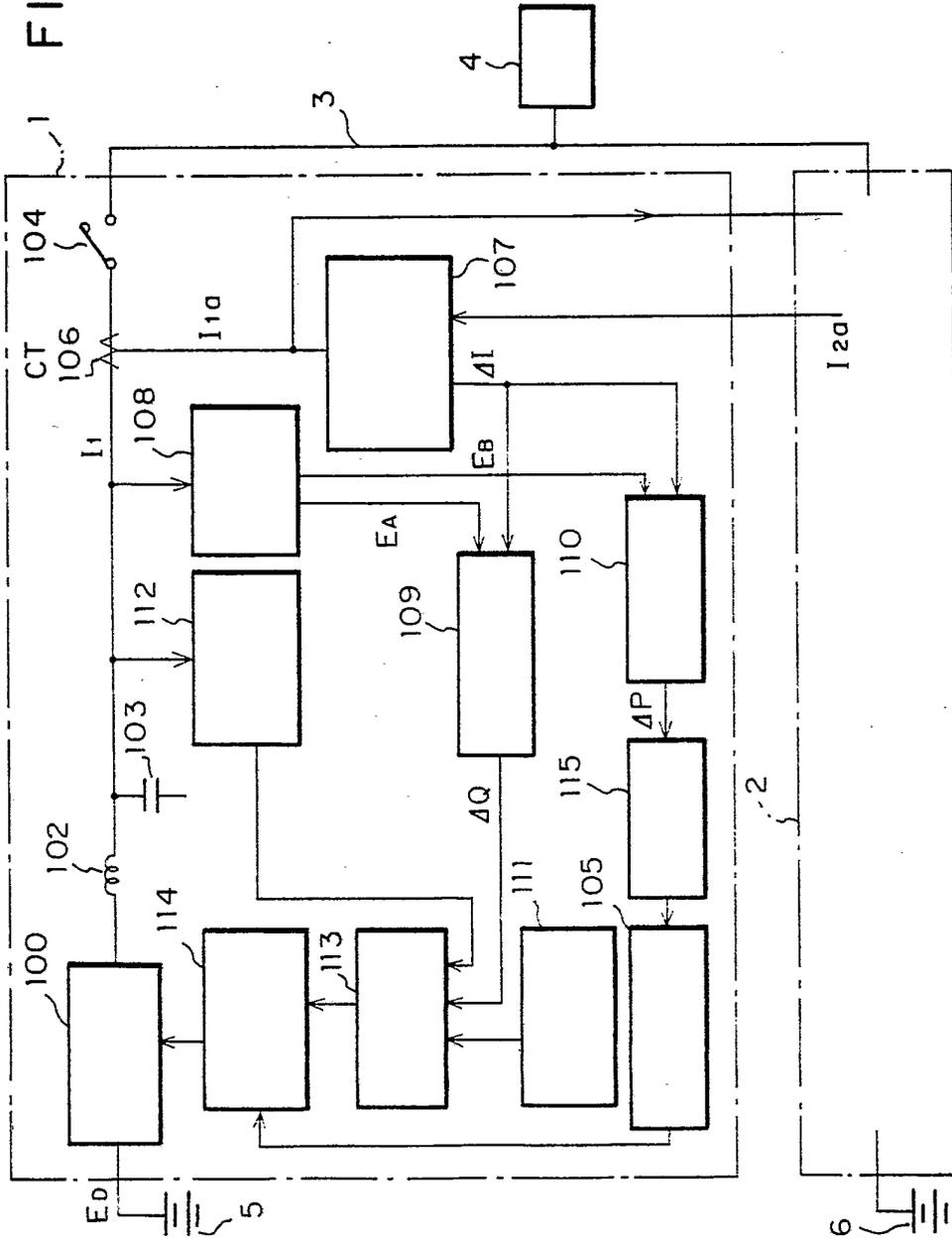


FIG. 2

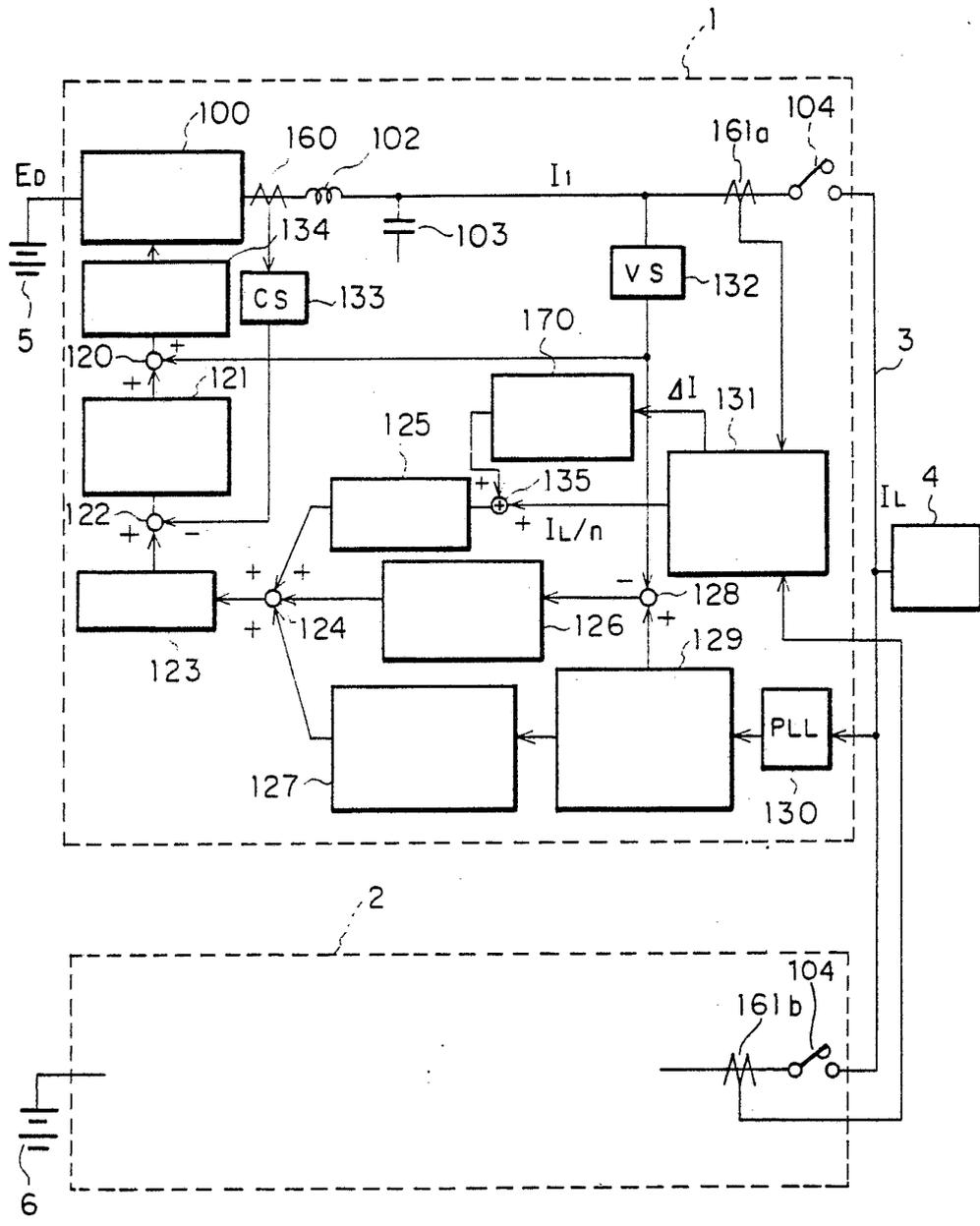


FIG. 3

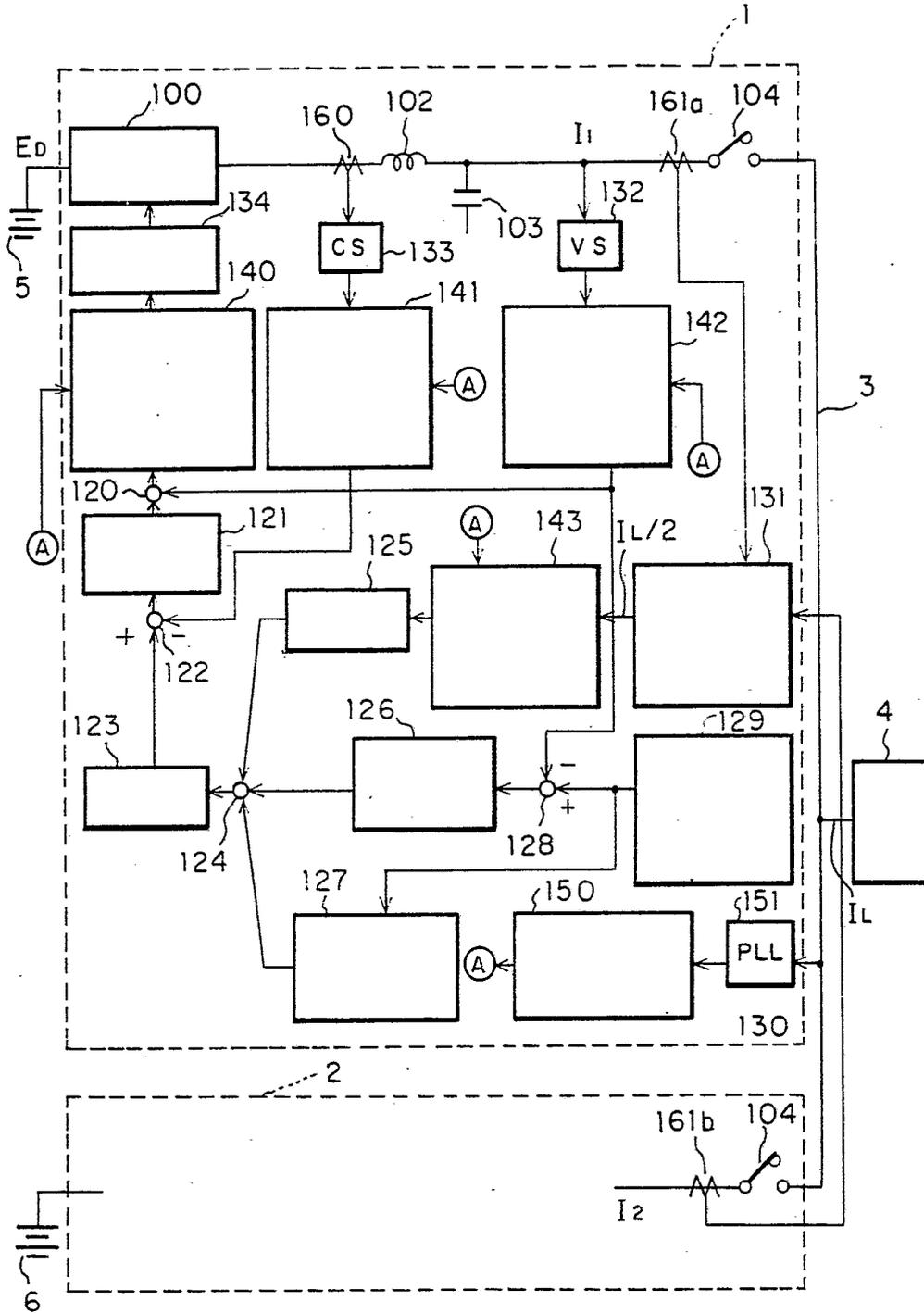


FIG. 4

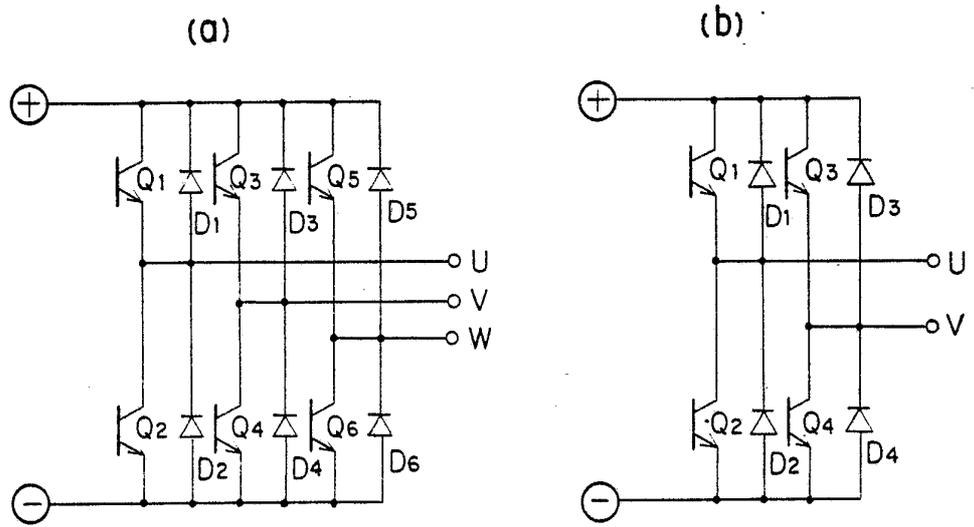


FIG. 5

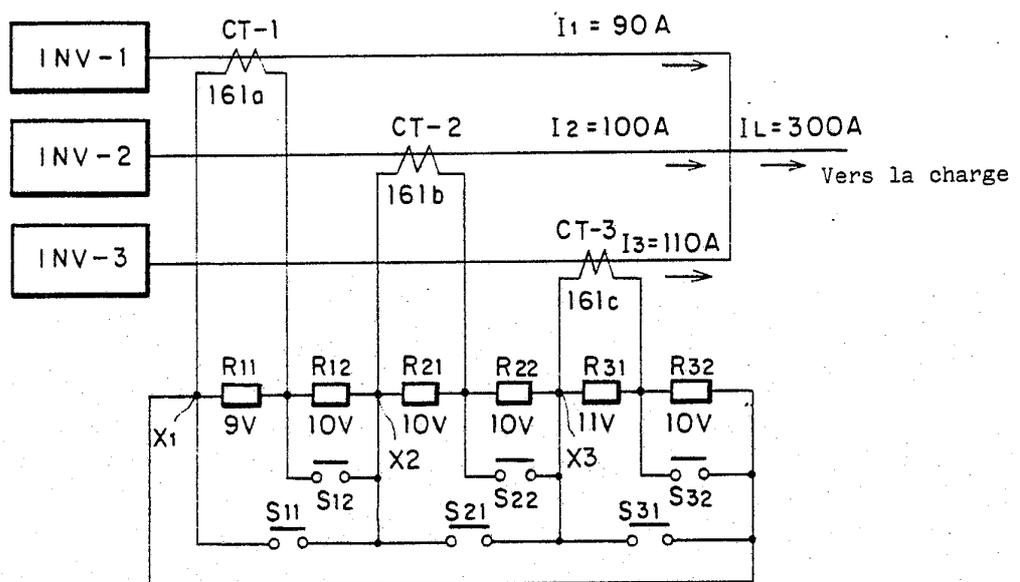


FIG. 7

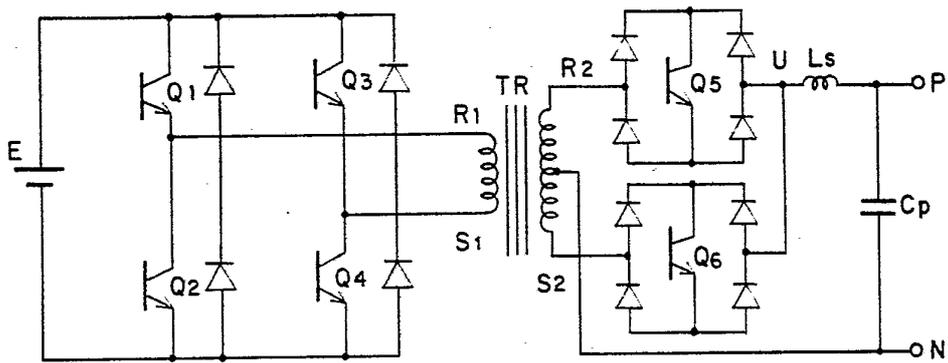


FIG. 6

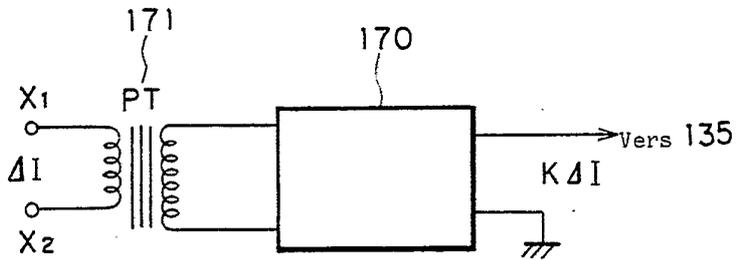


FIG. 8

