



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2008/02/12

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2008/08/13

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2014/12/02

(30) Priorité/Priority: 2007/02/13 (FR07 53236)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *H02M 3/00* (2006.01),
H02M 1/00 (2007.10)

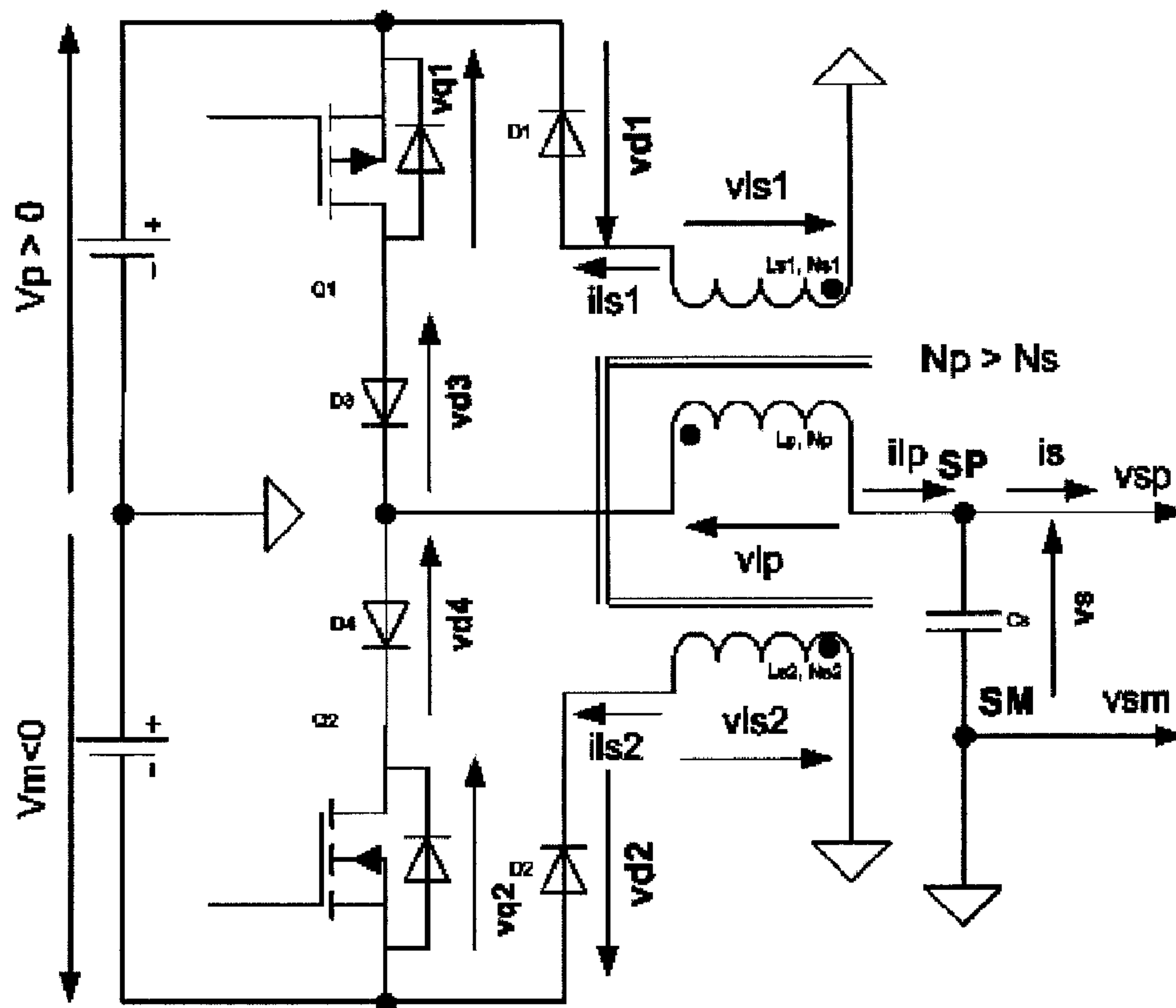
(72) Inventeurs/Inventors:
LACOMBE, BERTRAND, FR;
SALOPEK, IVICA, FR

(73) Propriétaire/Owner:
HISPANO SUIZA, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : CONVERTISSEUR A DECOUPAGE UNIPOLAIRE OU BIPOLAIRE A TROIS ENROULEMENTS
MAGNETIQUEMENT COUPLES

(54) Title: UNIPOLAR OR BIPOLAR CHOPPING CONVERTER WITH THREE MAGNETICALLY COUPLED WINDINGS



(57) Abrégé/Abstract:

Afin de diminuer le coût d'un convertisseur à découpage fournissant une tension continue aux bornes d'une charge (Z), il est proposé, selon la présente invention, un circuit à trois enroulements (L_p , L_{s1} , L_{s2}) et un seul noyau magnétique, ce qui permet de diminuer le coût et la taille du circuit. Il est alors nécessaire d'ajouter deux diodes (D_3 , D_4) au circuit, mais ces éléments sont de faible coût et de faible encombrement.



ABRÉGÉ DESCRIPTIF

Afin de diminuer le coût d'un convertisseur à découpage fournissant une tension continue aux bornes d'une charge (Z), il est proposé, selon la présente invention, un circuit à trois enroulements (Lp, Ls1, Ls2) et un seul noyau magnétique, ce qui permet de diminuer le coût et la taille du circuit. Il est alors nécessaire d'ajouter deux diodes (D3, D4) au circuit, mais ces éléments sont de faible coût et de faible encombrement.

FIGURE 2

CONVERTISSEUR A DECOUPAGE UNIPOLAIRE OU BIPOLAIRE A TROIS ENROULEMENTS MAGNETIQUEMENT COUPLES

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention se rapporte à un convertisseur
5 à découpage unipolaire ou bipolaire, fonctionnant dans
les quadrants ($I_s > 0$; $V_s > 0$) et ($I_s < 0$; $V_s < 0$), ainsi qu'à
courant ou tension de sortie nuls, possédant des
enroulements magnétiquement couplés, pouvant être
configuré avec le mode de régulation adapté en source
10 de courant ou source de tension. Elle s'applique à tous
les types d'équipement terrestre, naval ou aérien
utilisant ce type de convertisseur, notamment les
commandes d'actuateur électromécanique des automates de
régulation pour turbomoteurs.

15

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

La commande d'actionneurs électriques
présentant une charge de type RL (résistance et
inductance en série) peut être réalisée soit par
20 application d'une tension régulée aux bornes de la
bobine de commande de l'actionneur, soit par une source
de courant, cette dernière solution étant souvent
préférée en environnement sévère car elle permet
essentiellement de limiter la puissance utilisée pour
25 commander l'accessoire.

Les sources de courant à découpage peuvent
classiquement être regroupées parmi les sources de

courant utilisant l'inductance de la charge comme élément de stockage de l'énergie lors de l'opération de découpage, avec pour conséquence l'application aux bornes de la charge, à la fréquence de découpage, d'une
5 tension alternativement positive et négative, les transitions entre ces deux états pouvant dans l'idéal être considérées comme instantanées, et les sources de courant fournissant un courant continu et, par voie de conséquence, une tension continue aux bornes de la
10 charge, dont l'élément de stockage d'énergie pour le découpage est situé sur la carte de commande elle-même.

Les sources de courant à découpage utilisant l'inductance de la charge comme élément de stockage d'énergie ont l'avantage de présenter une
15 commande qui est à première vue simple. Elles comportent peu ou éventuellement pas d'éléments inductifs, ce qui conduit à un gain certain dans les dimensions du circuit. Par contre, elles présentent un certain nombre d'inconvénients. Elles présentent une
20 grande dépendance vis-à-vis de la valeur de l'inductance de la charge : la capacité à contrôler le courant instantané dans les interrupteurs de la source de courant dépend directement de la valeur de l'inductance de charge. La tenue aux courts-circuits
25 entre les bornes de sortie du convertisseur ou entre une quelconque borne de sortie et la masse est très difficile. En effet, en cas de court-circuit de la charge, il n'est pas possible, sauf à ajouter des composants, de limiter le courant instantané. En
30 conséquence, on est contraint en pratique d'ajouter une inductance en sortie de la source de courant afin de

limiter le courant de court-circuit, d'ajouter un dispositif de protection et de coupure très rapide pour limiter la valeur maximale du courant de court-circuit, d'ajouter un circuit de démagnétisation de l'inductance de sortie pour gérer la coupure après la détection du court-circuit en sortie, de surdimensionner les interfaces (condensateur de filtrage d'entrée) pour qu'elles puissent supporter le courant de court-circuit. Concernant l'aspect compatibilité électromagnétique (émissions conduites essentiellement), ces sources de courant sont difficiles à rendre compatibles avec les normes d'émission aéronautiques, si on veut une fréquence de découpage élevée, surtout si la charge est commandée au bout de plusieurs mètres de câble. Il en résulte une fréquence de découpage réduite typiquement en dessous de 10 kHz et une obligation de dimensionner un filtre de sortie (mode commun et mode différentiel) qui jouera un rôle de premier plan sur la stabilité de l'ensemble. Ce type de source de courant à découpage est restreint à des applications de forte puissance, pour lesquelles une fréquence de découpage faible n'est pas forcément un handicap.

Pour les sources de courant fournissant une tension continue aux bornes de la charge, le découpage ne s'effectue plus dans la charge mais le courant (ou la tension) est régulé en sortie d'un convertisseur à découpage comprenant une inductance stockant au minimum toute l'énergie transférée à la charge et un condensateur est ajouté pour lisser la tension de sortie. En conséquence, la tension de sortie est

quasiment continue aux bornes de la charge. Il y a donc moins de difficultés pour tenir les normes aéronautiques de bruit émis en conduction. En cas de court-circuit de la charge, le courant dans le convertisseur reste naturellement limité. On peut envisager des fréquences de découpage dépassant les 100 kHz, limitées en fait par le rendement du convertisseur et la performance des circuits de commande de grille des éléments interrupteurs.

La figure 1a est un schéma électrique d'un convertisseur de l'art antérieur fournissant une tension continue aux bornes d'une charge. Le circuit est alimenté par une tension positive V_p (par exemple +25V) et une tension négative V_m (par exemple -25V) par rapport à la masse. Il comprend deux éléments T1 et T2 comprenant chacun deux enroulements magnétiquement couplés autour d'un noyau magnétique. Les enroulements d'un même élément T1 ou T2 sont bobinés en opposition comme indiqué par un point sur la figure 1.

L'enroulement E1 de l'élément T1 possède une première extrémité reliée à la tension V_p par l'intermédiaire d'une diode D5 montée en inverse par rapport à la tension V_p , sa deuxième extrémité étant à la masse. L'enroulement E2 de l'élément T1 possède une première extrémité reliée à une première borne d'un interrupteur Q3 dont la deuxième borne est reliée à la tension V_p . La deuxième extrémité de l'enroulement E2 est reliée à la borne de sortie S1P du circuit. L'enroulement E3 de l'élément T2 possède une première extrémité reliée à la tension V_m par l'intermédiaire d'une diode D6 montée en inverse par rapport à la tension V_m , sa deuxième

extrémité étant à la masse. L'enroulement E4 de l'élément T2 possède une première extrémité reliée à une première borne d'un interrupteur Q4 dont la deuxième borne est reliée à la tension Vm. La deuxième
5 extrémité de l'enroulement E4 est reliée à la borne de sortie S1P du circuit. Un condensateur de lissage C1 est branché entre la sortie S1P et la masse.

Le convertisseur est transformé en source de courant par l'ajout d'un moyen de mesure du courant
10 de sortie, d'une régulation et d'un modulateur adaptés. C'est ce que montre la figure 1b où la charge branchée en sortie du convertisseur est représentée sous la forme d'une résistance Rc et d'une inductance Lc branchées en série. Le courant de sortie est mesuré par
15 un moyen de mesure 1 qui délivre un signal représentatif à une première entrée d'un moyen de régulation (ou correcteur) 2. Une deuxième entrée Ec du moyen de régulation 2 reçoit un signal de consigne. Le signal de sortie du moyen de régulation 2 est adressé à
20 l'entrée d'un modulateur 3 qui délivre un signal de commande SQ3 à l'interrupteur Q3 et un signal de commande SQ4 à l'interrupteur Q4.

Le convertisseur illustré par la figure 1a comprend donc quatre enroulements et deux noyaux
25 magnétiques, ce qui conduit à un coût relativement élevé et un encombrement du circuit relativement grand.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Afin de diminuer le coût et l'encombrement
30 d'un convertisseur à découpage fournissant une tension continue positive, négative ou nulle aux bornes d'une

charge, il est proposé, selon la présente invention, un circuit à trois enroulements couplés sur un seul noyau magnétique. Il est alors nécessaire d'ajouter deux diodes au circuit, mais ces éléments sont de faible
5 coût et de faible encombrement.

Un premier objet de l'invention consiste en un convertisseur à découpage alimenté par une tension positive et une tension négative par rapport à la masse, et délivrant une tension de sortie entre une
10 première borne de sortie et une deuxième borne de sortie, comprenant trois enroulements bobinés autour d'un noyau magnétique, un premier et un deuxième desdits enroulements étant montés en série et bobinés en opposition, leurs extrémités communes, ou premières
15 extrémités, étant reliées à la masse, la deuxième extrémité du premier enroulement étant reliée à la tension positive par l'intermédiaire d'une première diode montée en inverse par rapport à la tension positive, la deuxième extrémité du deuxième enroulement
20 étant reliée à la tension négative par l'intermédiaire d'une deuxième diode montée en inverse par rapport à la tension négative, le troisième enroulement possédant une première extrémité reliée à un point milieu d'une branche reliant la tension positive à la tension
25 négative, la partie de branche reliant le point milieu à la tension positive comprenant, disposés en série, un premier moyen formant interrupteur et une troisième diode montée en direct par rapport à la tension positive et formant ensemble un interrupteur
30 unidirectionnel à pouvoir de blocage direct et inverse, la partie de branche reliant le point milieu à la

tension négative comprenant, disposés en série, un deuxième moyen formant interrupteur et une quatrième diode montée en direct par rapport à la tension négative et formant ensemble un interrupteur
5 unidirectionnel à pouvoir de blocage direct et inverse, la deuxième extrémité du troisième enroulement étant reliée à la borne de sortie, le troisième enroulement possédant un nombre de spires supérieur au nombre de spires du premier enroulement et supérieur au nombre de
10 spires du deuxième enroulement.

Avantageusement, un condensateur de lissage est branché entre la première borne de sortie et la masse.

Avantageusement aussi, dans la branche
15 reliant la tension positive à la tension négative, ladite disposition en série consiste à disposer les premier et deuxième moyens formant interrupteur du côté des tensions positive ou négative respectives et à disposer les diodes du côté du point milieu.

20 Les moyens formant interrupteur peuvent être choisis parmi les transistors MOS, les transistors bipolaires, les transistors IGBT ou tout autre interrupteur ayant un pouvoir de conduction bi-directionnel et un pouvoir de blocage direct.

25 Pour une première application, le convertisseur peut comprendre en outre un moyen de mesure de la tension de sortie du convertisseur, ce moyen de mesure délivrant un signal de sortie représentatif de la tension de sortie à une première
30 entrée d'un moyen de régulation dont une deuxième entrée reçoit un signal de consigne, le moyen de

régulation délivrant un signal fourni à l'entrée d'un modulateur dont une première sortie envoie un signal de commande au premier moyen formant interrupteur et dont une deuxième sortie envoie un signal de commande au
5 deuxième moyen formant interrupteur, le convertisseur étant ainsi configuré en source de tension.

Pour une deuxième application, le convertisseur peut comprendre en outre un moyen de mesure du courant de sortie du convertisseur, ce moyen
10 de mesure délivrant un signal de sortie représentatif du courant de sortie du convertisseur à une première entrée d'un moyen de régulation dont une deuxième entrée reçoit un signal de consigne, le moyen de régulation délivrant un signal fourni à l'entrée d'un
15 modulateur dont une première sortie envoie un signal de commande au premier moyen formant interrupteur et dont une deuxième sortie envoie un signal de commande au deuxième moyen formant interrupteur, le convertisseur étant ainsi configuré en source de courant.

20 Le convertisseur à découpage selon l'invention peut équiper une commande d'actuateur électromécanique, un automate de régulation, un turbomoteur ou un équipement terrestre, naval ou aéronautique.

25 Le convertisseur à découpage selon la présente invention peut fonctionner selon les procédés suivants.

Un premier procédé comprend les étapes suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour
30 faire passer un courant négatif dans la charge :

- une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur est ouvert, la quatrième diode est passante, le deuxième moyen formant interrupteur est fermé et les première, deuxième et
5 troisième diodes sont bloquées pendant une première partie de cycle, le convertisseur fonctionnant en mode continu ou en mode discontinu,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle, les premier et
10 deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts, la deuxième diode est passante et les première, troisième et quatrième diodes sont bloquées pendant une deuxième partie de cycle, cette deuxième partie de cycle n'achevant pas le cycle si le convertisseur fonctionne
15 en mode discontinu et achevant le cycle si le convertisseur fonctionne en mode continu,

- une troisième étape, succédant à la deuxième étape si le convertisseur fonctionne en mode discontinu, au cours de laquelle les premier et
20 deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts et les première, deuxième, troisième et quatrième diodes sont bloquées pendant une troisième partie de cycle s'achevant à la fin du cycle.

Un deuxième procédé comprend les étapes
25 suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant positif dans la charge :

- une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur est fermé, la troisième diode est passante, le deuxième moyen formant
30 interrupteur est ouvert et les première, deuxième et quatrième diodes sont bloquées pendant une première

partie du cycle, le convertisseur fonctionnant en mode continu ou en mode discontinu,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle la première diode est passante, les premier et deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts et les deuxième, troisième et quatrième diodes sont bloquées pendant une deuxième partie du cycle, cette deuxième partie de cycle n'achevant pas le cycle si le convertisseur fonctionne en mode discontinu et achevant le cycle si le convertisseur fonctionne en mode continu,

- une troisième étape, succédant à la deuxième étape si le convertisseur fonctionne en mode discontinu, au cours de laquelle les premier et deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts, les premier, deuxième, troisième et quatrième diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.

Un troisième procédé comprend les étapes suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant négatif dans la charge, le convertisseur fonctionnant en mode continu :

- une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur est fermé, la troisième diode est passante, le deuxième moyen formant interrupteur est ouvert et les première et quatrième diodes sont bloquées pendant une première partie du cycle, la deuxième diode étant bloquée si la tension de sortie du convertisseur est, en valeur absolue, suffisamment faible,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle la première diode est passante, les premier et deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts et les deuxième, troisième et
5 quatrième diodes sont bloquées pendant une deuxième partie du cycle,

- une troisième étape, succédant à la deuxième étape, au cours de laquelle le deuxième moyen formant interrupteur est fermé, la quatrième diode est
10 passante, le premier moyen formant interrupteur est ouvert et les première, deuxième et troisième diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle,

- une quatrième étape, succédant à la troisième étape, au cours de laquelle la deuxième diode
15 est passante, les premier et deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts et la première, troisième et quatrième diodes sont bloquées, pendant une quatrième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.

Un quatrième procédé comprend les étapes
20 suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant positif dans la charge, le convertisseur fonctionnant en mode continu :

- une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur est fermé, la
25 troisième diode est passante, le deuxième moyen formant interrupteur est ouvert et les première, deuxième et quatrième diodes sont bloquées pendant une première partie du cycle,

- une deuxième étape, succédant à la
30 première étape, au cours de laquelle la première diode est passante, les premier et deuxième moyens formant

interrupteur sont ouverts et les deuxième, troisième et quatrième diodes sont bloquées pendant une deuxième partie du cycle,

- une troisième étape, succédant à la
5 deuxième étape, au cours de laquelle le deuxième moyen formant interrupteur est fermé, la quatrième diode est passante, le premier moyen formant interrupteur est ouvert et les deuxième et troisième diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle, la
10 première diode est bloquée si la tension de sortie est, en valeur absolue, suffisamment faible,

- une quatrième étape, succédant à la troisième étape, au cours de laquelle la deuxième diode est passante, les premier et deuxième moyens formant
15 interrupteur sont ouverts et la première, troisième et quatrième diodes sont bloquées, pendant une quatrième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

20 L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

25 - la figure 1a est un schéma électrique d'un convertisseur à découpage de l'art antérieur fournissant une tension continue aux bornes d'une charge,

- la figure 1b est un schéma électrique du
30 convertisseur de la figure 1a utilisé en tant que source de courant à découpage par ajout d'un moyen de

mesure du courant de sortie, ainsi que des correcteur et modulateur adéquats,

- la figure 2 est un schéma électrique d'un convertisseur à découpage fournissant une tension continue aux bornes d'une charge, selon l'invention,

- les figures 3A à 3N illustrent le mode de fonctionnement de la présente invention,

- les figures 4A à 4F sont des chronogrammes correspondant à différents modes de fonctionnement illustrés par les figures 3A à 3N,

- la figure 5a montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en tant que source de tension,

- la figure 5b montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en tant que source de courant.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION DE L'INVENTION

La figure 2 est un schéma électrique d'un convertisseur à découpage fournissant une tension continue aux bornes d'une charge, selon l'invention. Ce convertisseur peut être de la même manière que pour le convertisseur décrit sur les figures 1a et 1b converti en source de courant à découpage par l'ajout d'un moyen (direct ou indirect) de mesure du courant de la charge et des correcteur et modulateur adéquats. Comme pour la figure 1a, le circuit est alimenté par une tension positive V_p (par exemple +25V) et une tension négative V_m (par exemple -25V) par rapport à la masse. Il comprend un élément formant transformateur et comprenant trois enroulements L_p , L_{s1} et L_{s2} bobinés

autour d'un unique noyau magnétique. Le sens de bobinage est indiqué par un point sur la figure 2. Les enroulements Ls1 et Ls2 sont montés en série pour constituer le secondaire de l'élément formant transformateur, leur point commun (leurs premières extrémités) étant à la masse. L'enroulement Lp constitue le primaire de l'élément formant transformateur. La deuxième extrémité de l'enroulement Ls1 est reliée à la tension Vp par l'intermédiaire d'une diode D1 montée en inverse par rapport à la tension Vp. La deuxième extrémité de l'enroulement Ls2 est reliée à la tension Vm par l'intermédiaire d'une diode D2 montée en inverse par rapport à la tension Vm. L'enroulement Lp a une première extrémité reliée à la cathode d'une diode D3 et à l'anode d'une diode D4. La deuxième extrémité de l'enroulement Lp est reliée à la borne de sortie SP du circuit. Une première borne d'un interrupteur Q1 est reliée à l'anode de la diode D3 et sa deuxième borne est reliée à la tension Vp. Une première borne d'un interrupteur Q2 est reliée à la cathode de la diode D4 et sa deuxième borne est reliée à la tension Vm. Un condensateur de lissage Cs est branché entre la sortie SP et la masse. La sortie SM peut être reliée à la masse mécanique directement, ou via une résistance, suivant le besoin de l'utilisateur.

Les interrupteurs Q1 et Q2 sont avantageusement des éléments à transistors MOSFET à canal N ou à canal P, suivant les besoins de l'utilisateur. Ils peuvent être remplacés par tout autre interrupteur ayant une capacité de conduction bi-directionnelle et une capacité de blocage direct.

N_p étant le nombre de spires de l'enroulement L_p , N_{s1} étant le nombre de spires de l'enroulement L_{s1} et N_{s2} étant le nombre de spires de l'enroulement L_{s2} , N_p est supérieur à N_{s1} et à N_{s2} , par exemple $N_{s1} = N_{s2} = 0,75 N_p$.

La figure 2 mentionne les tensions suivantes :

- v_{q1} aux bornes de $Q1$,
- v_{q2} aux bornes de $Q2$,
- 10 - v_{d1} aux bornes de $D1$,
- v_{d2} aux borne de $D2$,
- v_{d3} aux bornes de $D3$,
- v_{d4} aux bornes de $D4$,
- v_{ls1} aux bornes de L_{s1} ,
- 15 - v_{ls2} aux bornes de L_{s2} ,
- v_{lp} aux bornes de L_p , et
- v_s aux bornes de C_s , soit la tension de sortie du convertisseur.

La figure 2 mentionne également les courants suivants :

- i_{ls1} traversant l'enroulement L_{s1} ,
- i_{ls2} traversant l'enroulement L_{s2} ,
- i_{lp} traversant l'enroulement L_p , et
- i_s traversant la charge Z du
- 25 convertisseur, soit le courant de sortie.

Le fonctionnement du convertisseur à découpage va maintenant être expliqué à l'aide des figures 3A à 3N en fonction des commandes (fermeture, ouverture) envoyées aux interrupteurs $Q1$ et $Q2$. Sur ces

30 figures, les courants qui circulent dans le circuit sont indiqués par des traits gras. Comme on le verra,

le convertisseur selon l'invention est un convertisseur deux quadrants :

$$v_s > 0, i_s > 0 \text{ et } v_s < 0, i_s < 0.$$

Les figures 3A à 3F concernent un mode de
5 fonctionnement où un seul transistor Q1 ou Q2 (formant interrupteur) conduit lorsque le courant de sortie est négatif ($i_s < 0$) ou lorsque le courant de sortie est positif ($i_s > 0$).

Les figures 3A à 3C concernent un mode de
10 fonctionnement où le courant de sortie i_s est négatif, pour un cycle de fonctionnement (de $t=0$ à $t=T$).

La figure 3A illustre une première étape du cycle de fonctionnement entre les instants $t=0$ et $t=t_1$ (avec $t_1 < T$). Le circuit peut fonctionner en mode
15 continu et en mode discontinu. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- Q2 et D4 conduisent,
- Q1, D1, D2 et D3 sont bloqués.

La figure 3B illustre une deuxième étape du
20 cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_1$ et $t=t_2$. Le circuit peut fonctionner en mode continu (dans ce cas $t_2=T$) ou en mode discontinu. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- D2 conduit,
- 25 - Q1, Q2, D1, D3 et D4 sont bloqués.

La figure 3C illustre une troisième étape du cycle de fonctionnement, uniquement pour le mode discontinu, entre $t=t_2$ et $t=T$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- 30 - Q1, Q2, D1, D2, D3 et D4 sont bloqués,

- le courant i_s circulant dans la charge est fourni par l'énergie accumulée dans le condensateur C_s .

La figure 4A montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 3A à 3C pour un mode discontinu, donc pour un cycle de fonctionnement comportant trois étapes.

La figure 4B montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 3A à 3C pour un mode continu, donc un cycle de fonctionnement comportant deux étapes.

Les figures 3D à 3F concernent un mode de fonctionnement où le courant de sortie i_s est positif, pour un cycle de fonctionnement (de $t=0$ à $t=T$).

La figure 3D illustre une première étape du cycle de fonctionnement entre les instants $t=0$ et $t=t_1$ (avec $t_1 < T$). Le circuit peut fonctionner en mode continu et en mode discontinu. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- Q1 et D3 conduisent,
- Q2, D1, D2 et D4 sont bloqués.

La figure 3E illustre une deuxième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_1$ et $t=t_2$. Le circuit peut fonctionner en mode continu (dans ce cas $t_2=T$) ou en mode discontinu. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- D1 conduit,
- Q1, Q2, D2, D3 et D4 sont bloqués.

La figure 3F illustre une troisième étape du cycle de fonctionnement, uniquement pour le mode

discontinu, entre $t=t_2$ et $t=T$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- Q1, Q2, D1, D2, D3 et D4 sont bloqués,
 - le courant i_s circulant dans la charge
- 5 est fourni par l'énergie accumulée dans le condensateur Cs.

La figure 4C montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 3D à 3F pour un mode discontinu, donc pour

10 un cycle de fonctionnement comportant trois étapes.

La figure 4D montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 3D à 3F pour un mode continu, donc pour un cycle de fonctionnement comportant deux étapes.

15 Les figures 3G à 3N concernent un mode de fonctionnement où les deux transistors Q1 et Q2 (formant interrupteur) conduisent lorsque le courant de sortie est négatif ($i_s < 0$) et lorsque le courant de sortie est positif ($i_s > 0$). Le fonctionnement décrit est

20 en mode continu.

Les figures 3G à 3J concernent un mode de fonctionnement où le courant de sortie i_s est négatif, pour un cycle de fonctionnement (de $t=0$ à $t=T$).

La figure 3G illustre une première étape du

25 cycle de fonctionnement, entre les instants $t=0$ et $t=t_1$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- Q1 et D3 conduisent,
 - Q2, D1 et D4 sont bloqués,
 - D2 est bloquée si la tension de sortie en
- 30 continu est, en valeur absolue, suffisamment faible.

La figure 3H illustre une deuxième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_1$ et $t=t_2$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- 5 - D1 conduit,
 - Q1, Q2, D2, D3 et D4 sont bloqués.

La figure 3I illustre une troisième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_2$ et $t=t_3$. Au cours de cette étape, la commande du circuit
10 est telle que :

- Q2 et D4 conduisent,
 - Q1, D1, D2 et D3 sont bloqués

La figure 3J illustre une quatrième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_3$ et
15 $t=T$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- D2 conduit,
 - Q1, Q2, D1, D3 et D4 sont bloqués.

Les figures 3K à 3N concernent un mode de
20 fonctionnement où le courant de sortie i_s est positif, pour un cycle de fonctionnement (de $t=0$ à $t=T$).

La figure 3K illustre une première étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=0$ et $t=t_1$. Au cours de cette étape, la commande du circuit
25 est telle que :

- Q1 et D3 conduisent,
 - Q2, D1, D2 et D4 sont bloqués.

La figure 3L illustre une deuxième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_1$ et
30 $t=t_2$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- D1 conduit,
- Q1, Q2, D2, D3 et D4 sont bloqués.

La figure 3M illustre une troisième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_2$ et $t=t_3$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que :

- Q2 et D4 conduisent
- Q1, D2 et D3 sont bloqués,
- D1 est bloquée si la tension de sortie en continu est, en valeur absolue, suffisamment faible.

La figure 3N illustre une quatrième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_3$ et $t=T$. Au cours de cette étape, la commande du circuit est telle que

- D2 conduit,
- Q1, Q2, D1, D3 et D4 sont bloqués.

La figure 4E montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 3G à 3J, donc pour un cycle de fonctionnement comportant quatre étapes.

La figure 4F montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 3K à 3N, donc pour un cycle de fonctionnement comportant également quatre étapes.

La figure 5a montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en tant que source de tension par l'ajout d'un moyen de mesure 11 de la tension différentielle entre les sorties SP et SM, d'un correcteur adéquat 12 recevant une consigne E_c et d'un modulateur 13 adéquat. Les

sorties du modulateur 13 fournissent les tensions de commande SQ1 et SQ2 des transistors Q1 et Q2.

La figure 5b montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en tant que source de courant par l'ajout d'un moyen de mesure 21 de courant de sorties is du convertisseur, d'un correcteur adéquat 22 recevant une consigne Ec et d'un modulateur adéquat 23. Les sorties du modulateur 23 fournissent les tensions de commande SQ1 et SQ2 des transistors Q1 et Q2.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur à découpage alimenté par une tension positive (V_p) et une tension négative (V_m)
5 par rapport à la masse, et délivrant une tension de sortie entre une première borne de sortie (SP) et une deuxième borne de sortie (SM), cette dernière étant reliée directement à la masse ou à travers une résistance, comprenant trois enroulements (L_{s1} , L_{s2} ,
10 L_p) bobinés autour d'un noyau magnétique, un premier (L_{s1}) et un deuxième (L_{s2}) desdits enroulements étant montés en série et bobinés en opposition, leurs extrémités communes, ou premières extrémités, étant reliées à la masse, la deuxième extrémité du premier
15 enroulement (L_{s1}) étant reliée à la tension positive (V_p) par l'intermédiaire d'une première diode ($D1$) montée en inverse par rapport à la tension positive (V_p), la deuxième extrémité du deuxième enroulement (L_{s2}) étant reliée à la tension négative (V_m) par
20 l'intermédiaire d'une deuxième diode ($D2$) montée en inverse par rapport à la tension négative (V_m), le troisième enroulement (L_p) possédant une première extrémité reliée à un point milieu d'une branche reliant la tension positive (V_p) à la tension négative
25 (V_m), la partie de branche reliant le point milieu à la tension positive (V_p) comprenant, disposés en série, un premier moyen formant interrupteur ($Q1$) et une troisième diode ($D3$) montée en direct par rapport à la tension positive (V_p), et formant ensemble un
30 interrupteur unidirectionnel à pouvoir de blocage direct et inverse, la partie de branche reliant le

point milieu à la tension négative (V_m) comprenant, disposés en série, un deuxième moyen formant interrupteur (Q_2) et une quatrième diode (D_4) montée en direct par rapport à la tension négative (V_m), et
5 formant ensemble un interrupteur unidirectionnel à pouvoir de blocage direct et inverse, la deuxième extrémité du troisième enroulement (L_p) étant reliée à la première borne de sortie (SP), le troisième enroulement (L_p) possédant un nombre de spires
10 supérieur au nombre de spires du premier enroulement (L_{s1}) et supérieur au nombre de spires du deuxième enroulement (L_{s2}).

2. Convertisseur à découpage selon la
15 revendication 1, dans lequel un condensateur de lissage (C_s) est branché entre la première borne de sortie (SP) et la masse.

3. Convertisseur à découpage selon l'une
20 des revendications 1 ou 2, dans lequel, dans la branche reliant la tension positive (V_p) à la tension négative (V_m), ladite disposition en série consiste à disposer les premier (Q_1) et deuxième (Q_2) moyens formant interrupteur du côté des tensions positive ou négative
25 respectives et à disposer les diodes (D_3 , D_4) du côté du point milieu.

4. Convertisseur à découpage selon l'une
quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les
30 premier (Q_1) et deuxième (Q_2) moyens formant interrupteur sont choisis parmi les transistors MOS,

les transistors bipolaires, les transistors IGBT ou tout autre interrupteur ayant une capacité de conduction bi-directionnelle et une capacité de blocage direct.

5

5. Convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant en outre un moyen de mesure (11) de la tension de sortie du convertisseur, ce moyen de mesure délivrant un
10 signal de sortie représentatif de la tension de sortie à une première entrée d'un moyen de régulation (12) dont une deuxième entrée reçoit un signal de consigne, le moyen de régulation (12) délivrant un signal fourni à l'entrée d'un modulateur (13) dont une première
15 sortie envoie un signal de commande (SQ1) au premier moyen formant interrupteur (Q1) et dont une deuxième sortie envoie un signal de commande (SQ2) au deuxième moyen formant interrupteur (Q2), le convertisseur étant ainsi configuré en source de tension.

20

6. Convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant en outre un moyen de mesure (21) du courant de sortie (is) du convertisseur, ce moyen de mesure délivrant un
25 signal de sortie représentatif du courant de sortie du convertisseur à une première entrée d'un moyen de régulation (22) dont une deuxième entrée reçoit un signal de consigne, le moyen de régulation (22) délivrant un signal fourni à l'entrée d'un modulateur
30 (23) dont une première sortie envoie un signal de commande (SQ1) au premier moyen formant interrupteur

(Q1) et dont une deuxième sortie envoie un signal de commande (SQ2) au deuxième moyen formant interrupteur (Q2), le convertisseur étant configuré en source de courant.

5

7. Commande d'actuateur électromécanique comportant un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

10

8. Automate de régulation comportant un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

9. Equipement terrestre, naval ou
15 aéronautique comportant un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

10. Turbomoteur comportant un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1
20 à 6.

11. Procédé de fonctionnement d'un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le convertisseur étant alimenté
25 par une tension positive (V_p) et une tension négative (V_m) par rapport à la masse, le convertisseur délivrant un courant de sortie (i_s) dans une charge (Z) branchée entre la première borne de sortie (SP) et la deuxième borne de sortie (SM), cette dernière étant reliée
30 directement ou à travers une résistance à la masse, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes,

pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant négatif dans la charge (Z) :

- une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur (Q1) est ouvert, la quatrième diode (D4) est passante, le deuxième moyen formant interrupteur (Q2) est fermé et les première (D1), deuxième (D2) et troisième (D3) diodes sont bloquées pendant une première partie de cycle, le convertisseur fonctionnant en mode continu ou en mode discontinu,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle, les premier (Q1) et deuxième (Q2) moyens formant interrupteur sont ouverts, la deuxième diode (D2) est passante et les première (D1), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont bloquées pendant une deuxième partie de cycle, cette deuxième partie de cycle n'achevant pas le cycle si le convertisseur fonctionne en mode discontinu et achevant le cycle si le convertisseur fonctionne en mode continu,

- une troisième étape, succédant à la deuxième étape si le convertisseur fonctionne en mode discontinu, au cours de laquelle les premier (Q1) et deuxième (Q2) moyens formant interrupteur sont ouverts et les première (D1), deuxième (D2), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont bloquées pendant une troisième partie de cycle s'achevant à la fin du cycle.

12. Procédé de fonctionnement d'un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le convertisseur étant alimenté

par une tension positive (V_p) et une tension négative (V_m) par rapport à la masse, la convertisseur délivrant un courant de sortie (i_s) dans une charge (Z) branchée entre la première borne de sortie (SP) et la deuxième borne de sortie (SM), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant positif dans la charge (Z) :

- une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur (Q_1) est fermé, la troisième diode (D_3) est passante, le deuxième moyen formant interrupteur (Q_2) est ouvert et les première (D_1), deuxième (D_2) et quatrième (D_4) diodes sont bloquées pendant une première partie du cycle, le convertisseur fonctionnant en mode continu ou en mode discontinu,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle la première diode (D_1) est passante, les premier (Q_1) et deuxième (Q_2) moyens formant interrupteur sont ouverts et les deuxième (D_2), troisième (D_3) et quatrième (D_4) diodes sont bloquées pendant une deuxième partie du cycle, cette deuxième partie de cycle n'achevant pas le cycle si le convertisseur fonctionne en mode discontinu et achevant le cycle si le convertisseur fonctionne en mode continu,

- une troisième étape, succédant à la deuxième étape si le convertisseur fonctionne en mode discontinu, au cours de laquelle les premier (Q_1) et deuxième (Q_2) moyens formant interrupteur sont ouverts, les premier (D_1), deuxième (D_2), troisième (D_3) et

quatrième (D4) diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.

13. Procédé de fonctionnement d'un
5 convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le convertisseur étant alimenté par une tension positive (V_p) et une tension négative (V_m) par rapport à la masse, la convertisseur délivrant un courant de sortie (i_s) dans une charge (Z) branchée
10 entre la première borne de sortie (SP) et la deuxième borne de sortie (SM), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant négatif dans la charge (Z), le convertisseur fonctionnant en mode continu :

15 - une première étape au cours de laquelle le premier moyen formant interrupteur (Q1) est fermé, la troisième diode (D3) est passante, le deuxième moyen formant interrupteur (Q2) est ouvert et les première (D1) et quatrième (D4) diodes sont bloquées pendant une
20 première partie du cycle, la deuxième diode (D2) étant bloquée si la tension de sortie du convertisseur est, en valeur absolue, suffisamment faible,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle la première diode
25 (D1) est passante, les premier (Q1) et deuxième (Q2) moyens formant interrupteur sont ouverts et les deuxième (D2), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont bloquées pendant une deuxième partie du cycle,

- une troisième étape, succédant à la
30 deuxième étape, au cours de laquelle le deuxième moyen formant interrupteur (Q2) est fermé, la quatrième diode

(D4) est passante, le premier moyen formant interrupteur (Q1) est ouvert et les première (D1), deuxième (D2) et troisième (D3) diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle,

5 - une quatrième étape, succédant à la troisième étape, au cours de laquelle la deuxième diode (D2) est passante, les premier (Q1) et deuxième (Q2) moyens formant interrupteur sont ouverts et la première (D1), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont
10 bloquées, pendant une quatrième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.

14. Procédé de fonctionnement d'un convertisseur à découpage selon l'une quelconque des
15 revendications 1 à 6, le convertisseur étant alimenté par une tension positive (V_p) et une tension négative (V_m) par rapport à la masse, le convertisseur délivrant un courant de sortie (i_s) dans une charge (Z) branchée entre la première borne de sortie (SP) et la deuxième
20 borne de sortie (SM), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes, pour un cycle de fonctionnement et pour faire passer un courant positif dans la charge (Z), le convertisseur fonctionnant en mode continu :

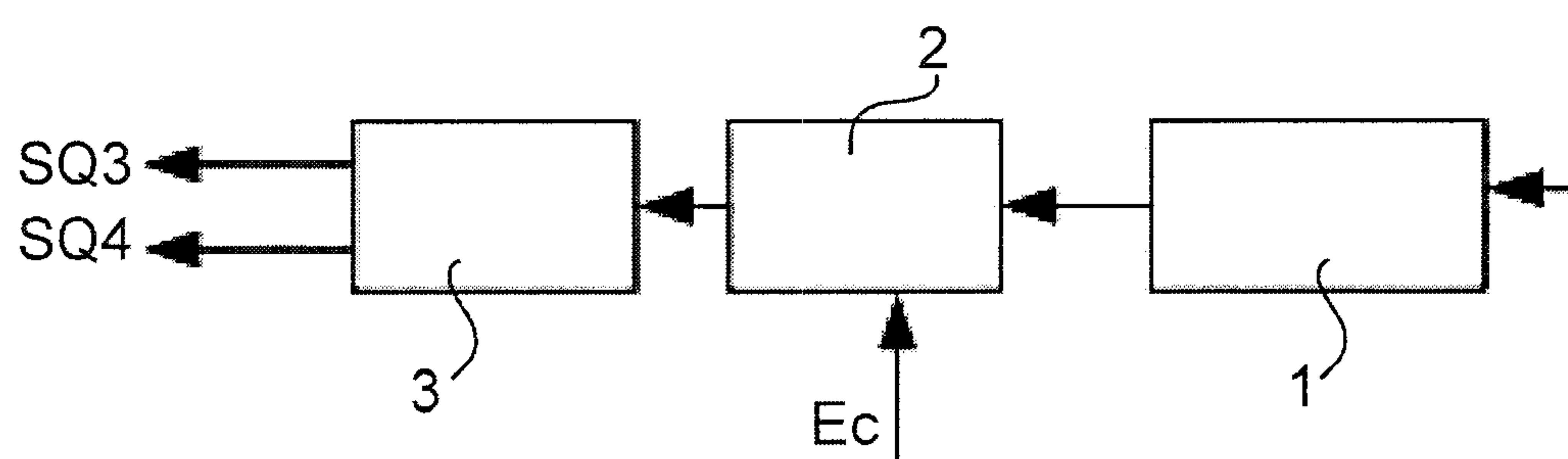
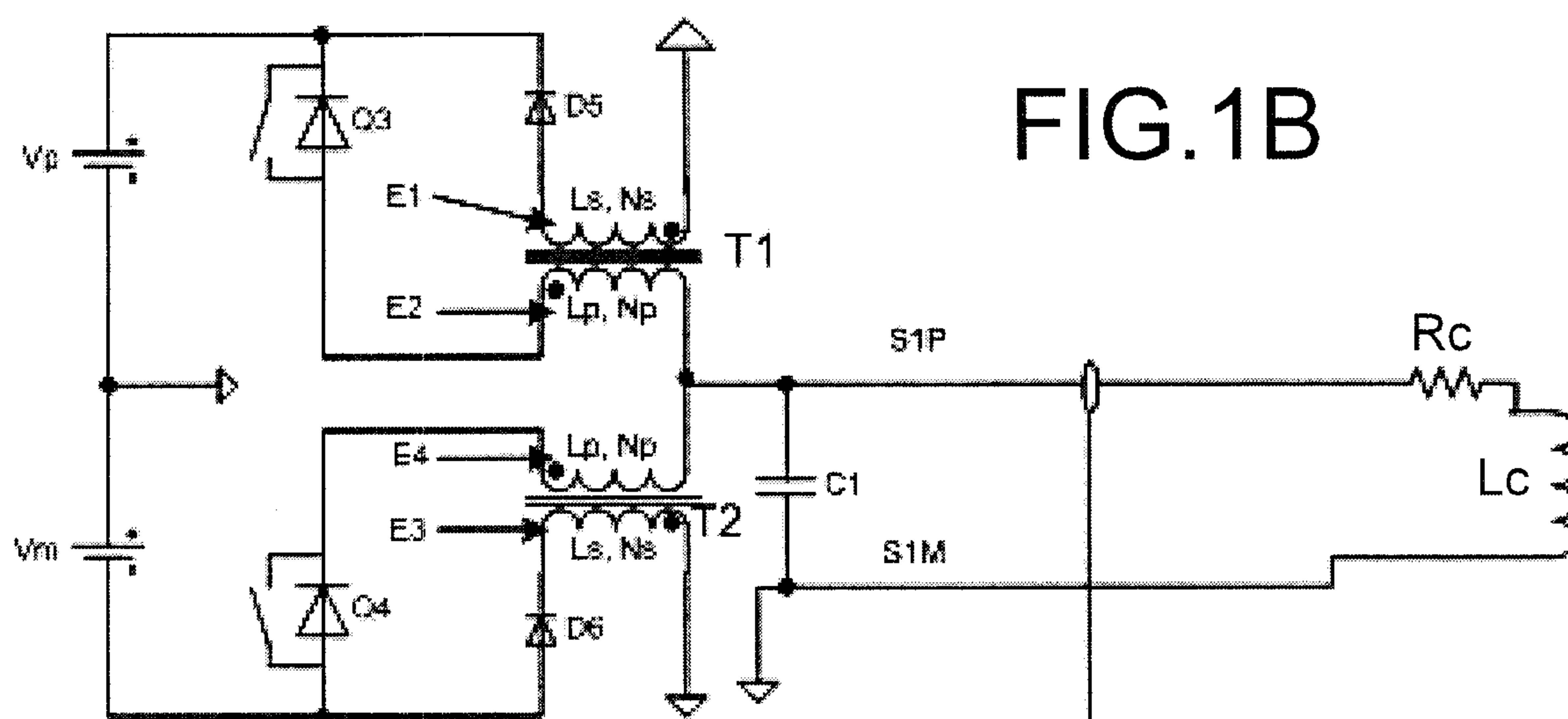
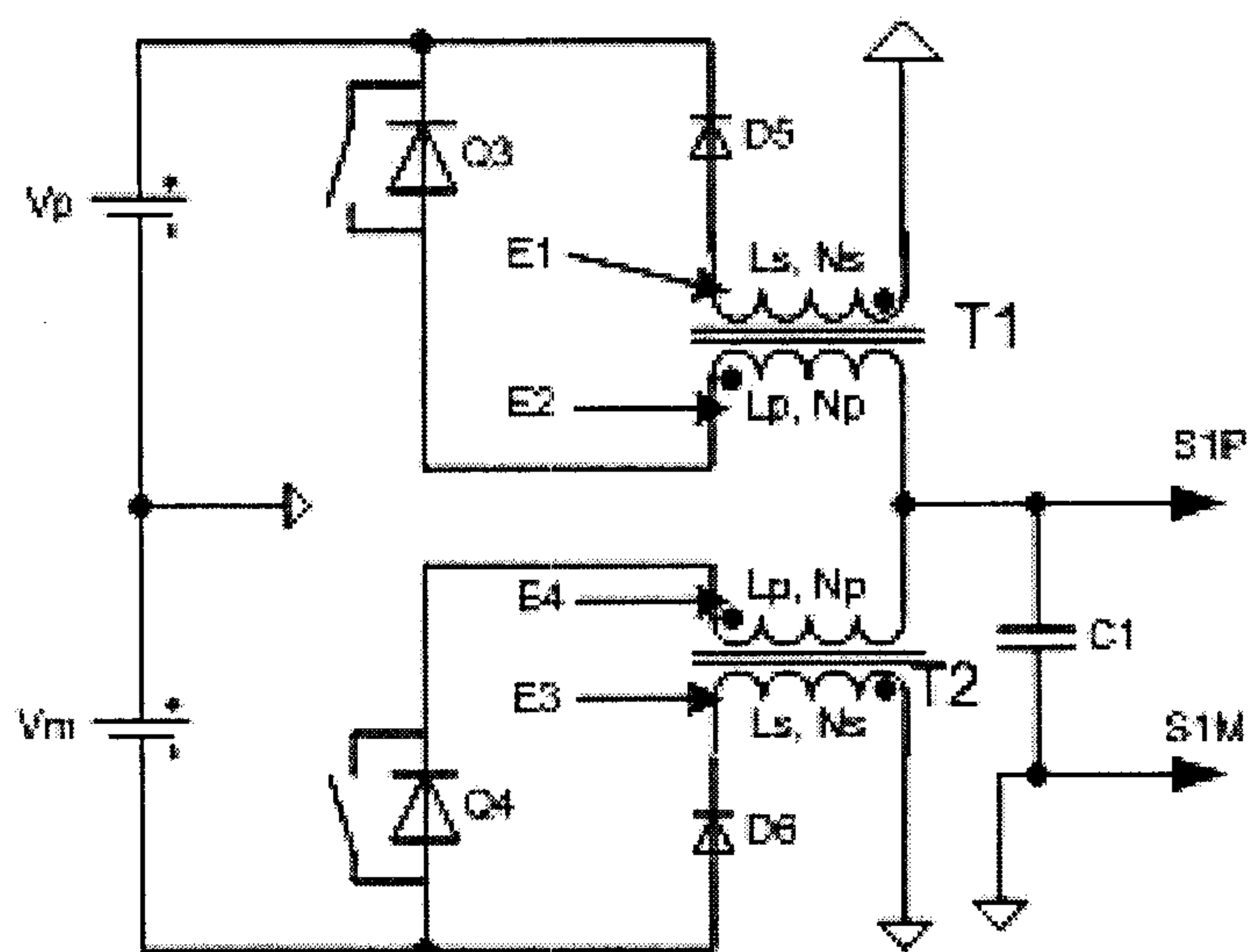
 - une première étape au cours de laquelle
25 le premier moyen formant interrupteur (Q1) est fermé, la troisième diode (D3) est passante, le deuxième moyen formant interrupteur (Q2) est ouvert et les première (D1), deuxième (D2) et quatrième (D4) diodes sont bloquées pendant une première partie du cycle,

30 - une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle la première diode

(D1) est passante, les premier (Q1) et deuxième (Q2) moyens formant interrupteur sont ouverts et les deuxième (D2), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont bloquées pendant une deuxième partie du cycle,

5 - une troisième étape, succédant à la deuxième étape, au cours de laquelle le deuxième moyen formant interrupteur (Q2) est fermé, la quatrième diode (D4) est passante, le premier moyen formant interrupteur (Q1) est ouvert et les deuxième (D2) et
10 troisième (D3) diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle, la première diode (D1) est bloquée si la tension de sortie est, en valeur absolue, suffisamment faible,

 - une quatrième étape, succédant à la
15 troisième étape, au cours de laquelle la deuxième diode (D2) est passante, les premier (Q1) et deuxième (Q2) moyens formant interrupteur sont ouverts et la première (D1), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont bloquées, pendant une quatrième partie du cycle
20 s'achevant à la fin du cycle.



2 / 15

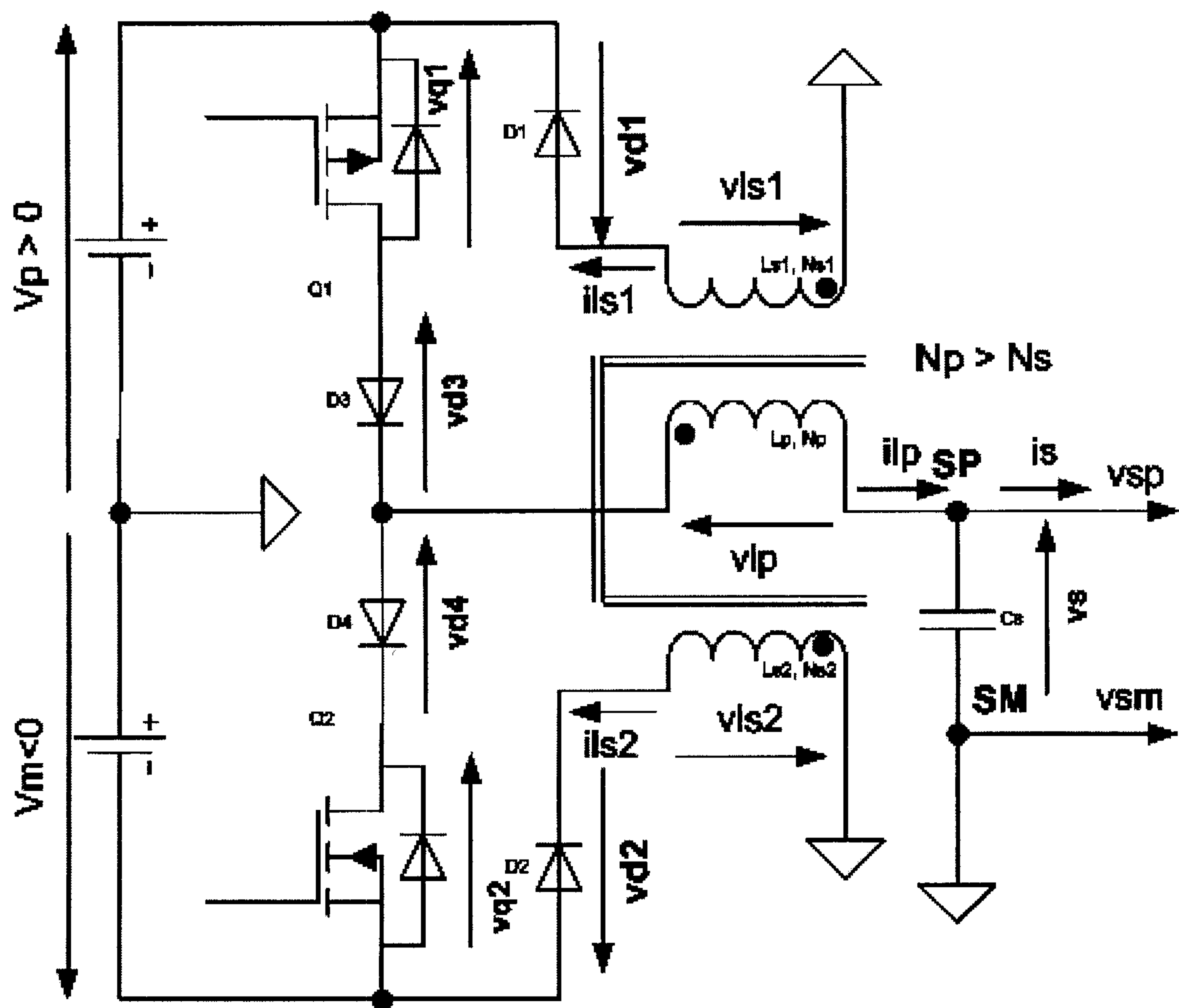
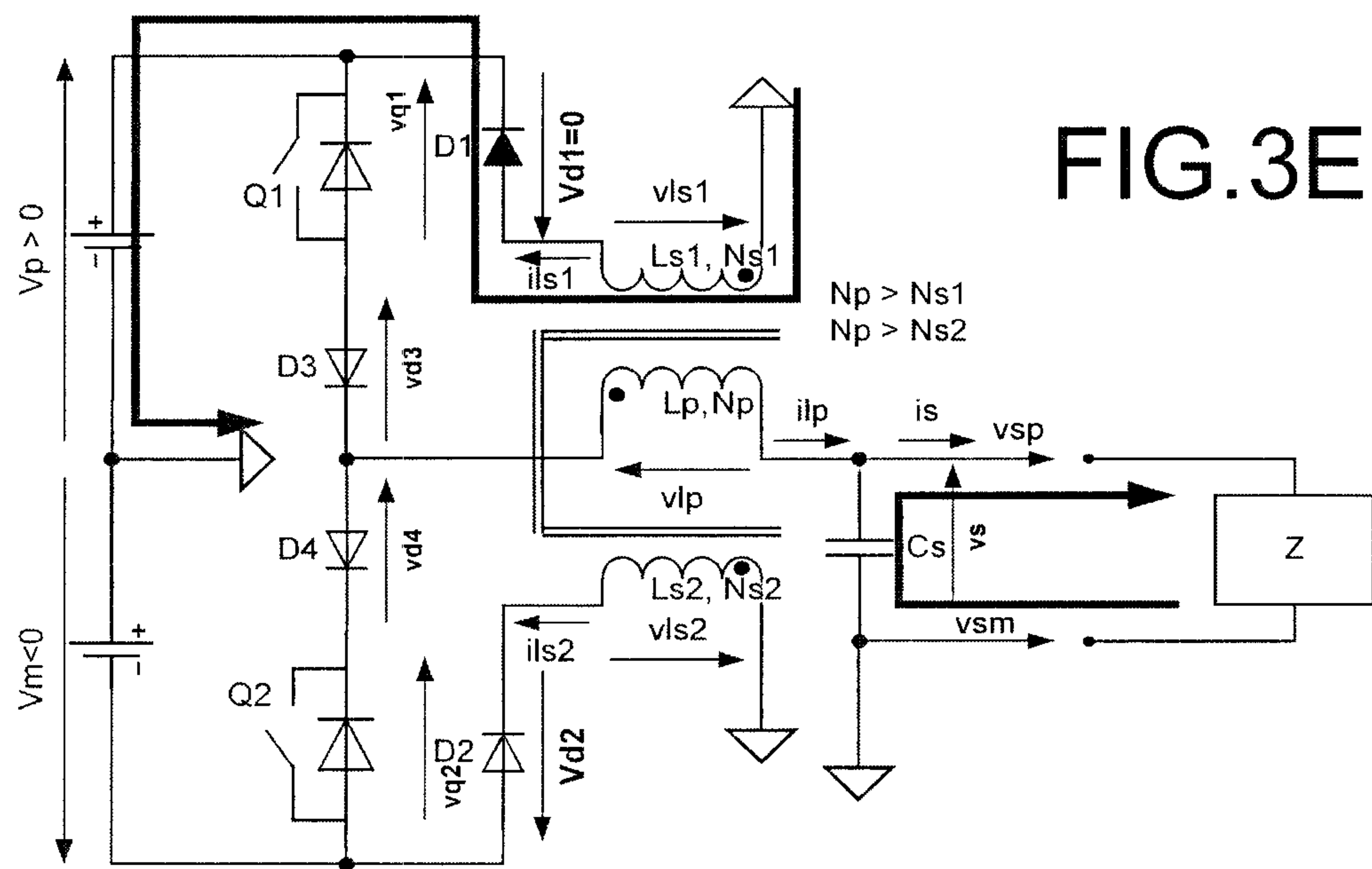
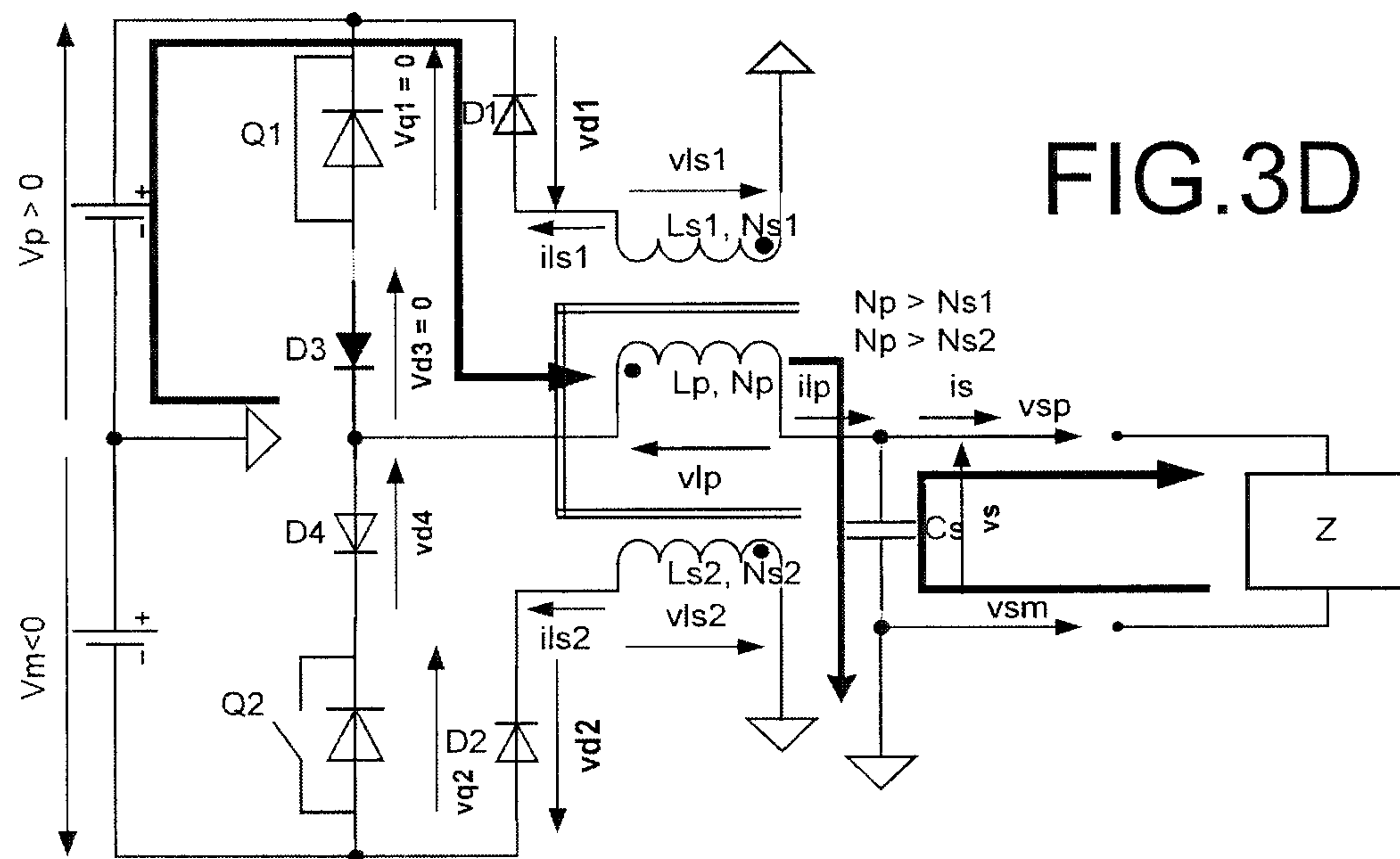


FIG.2

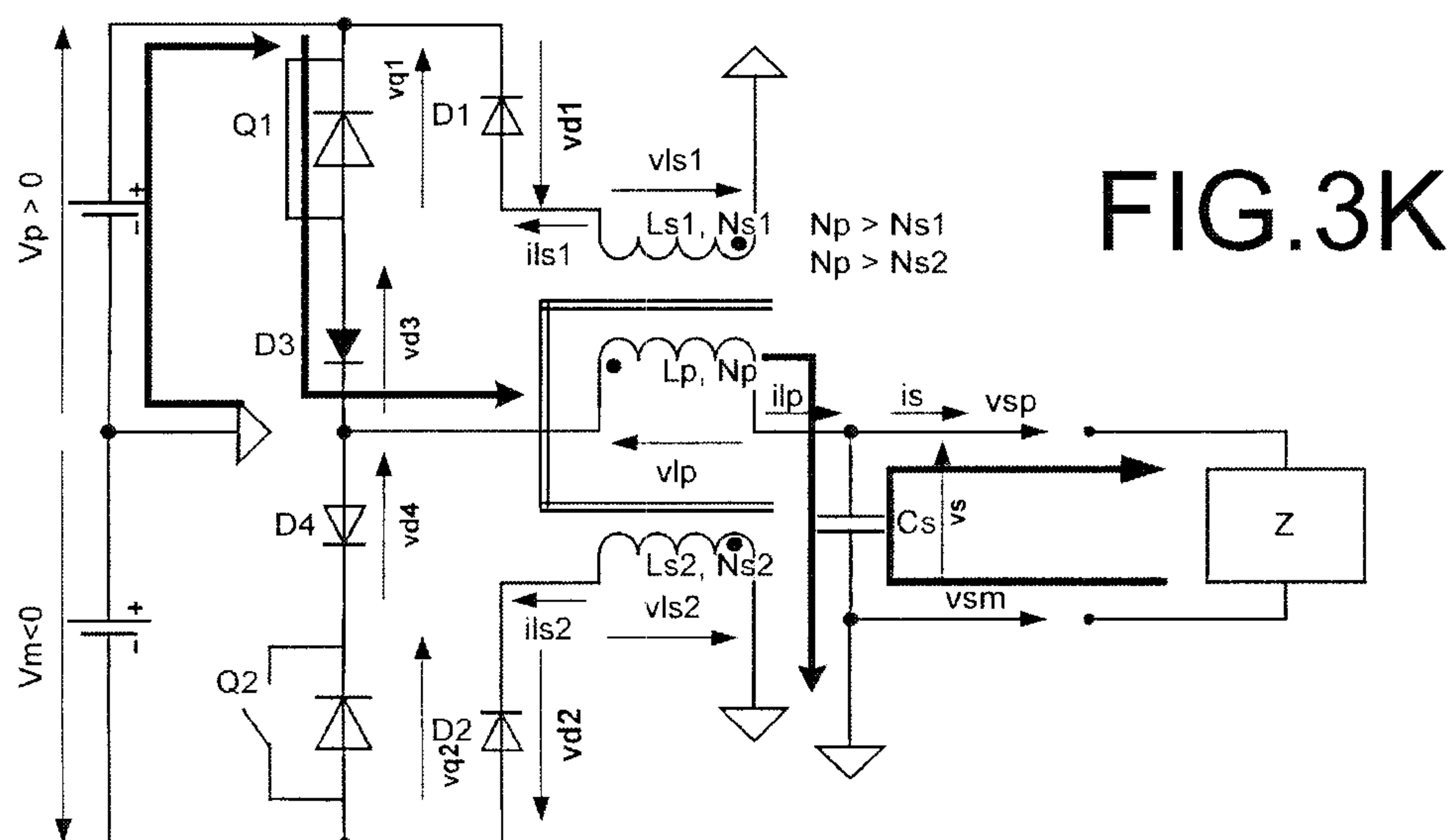
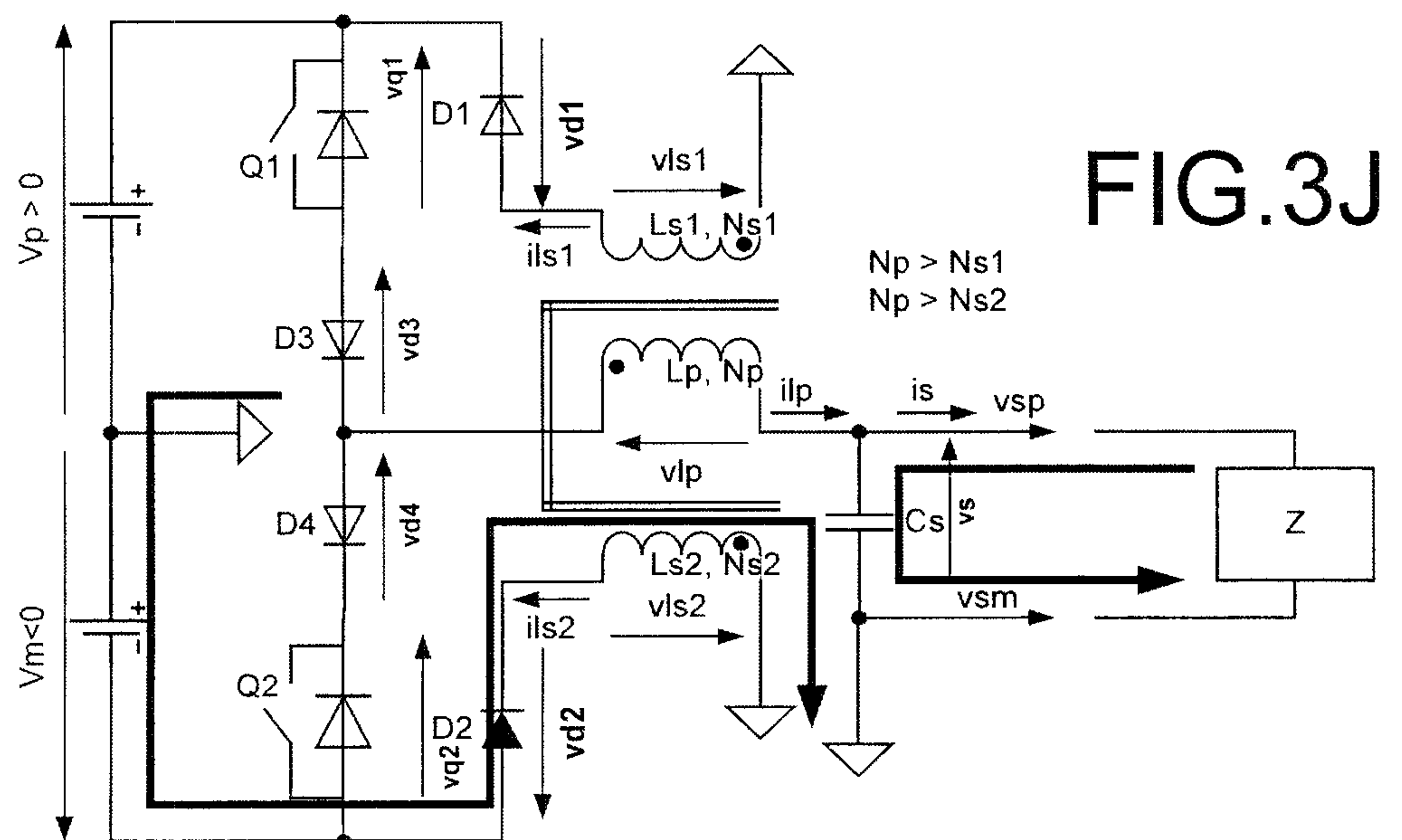
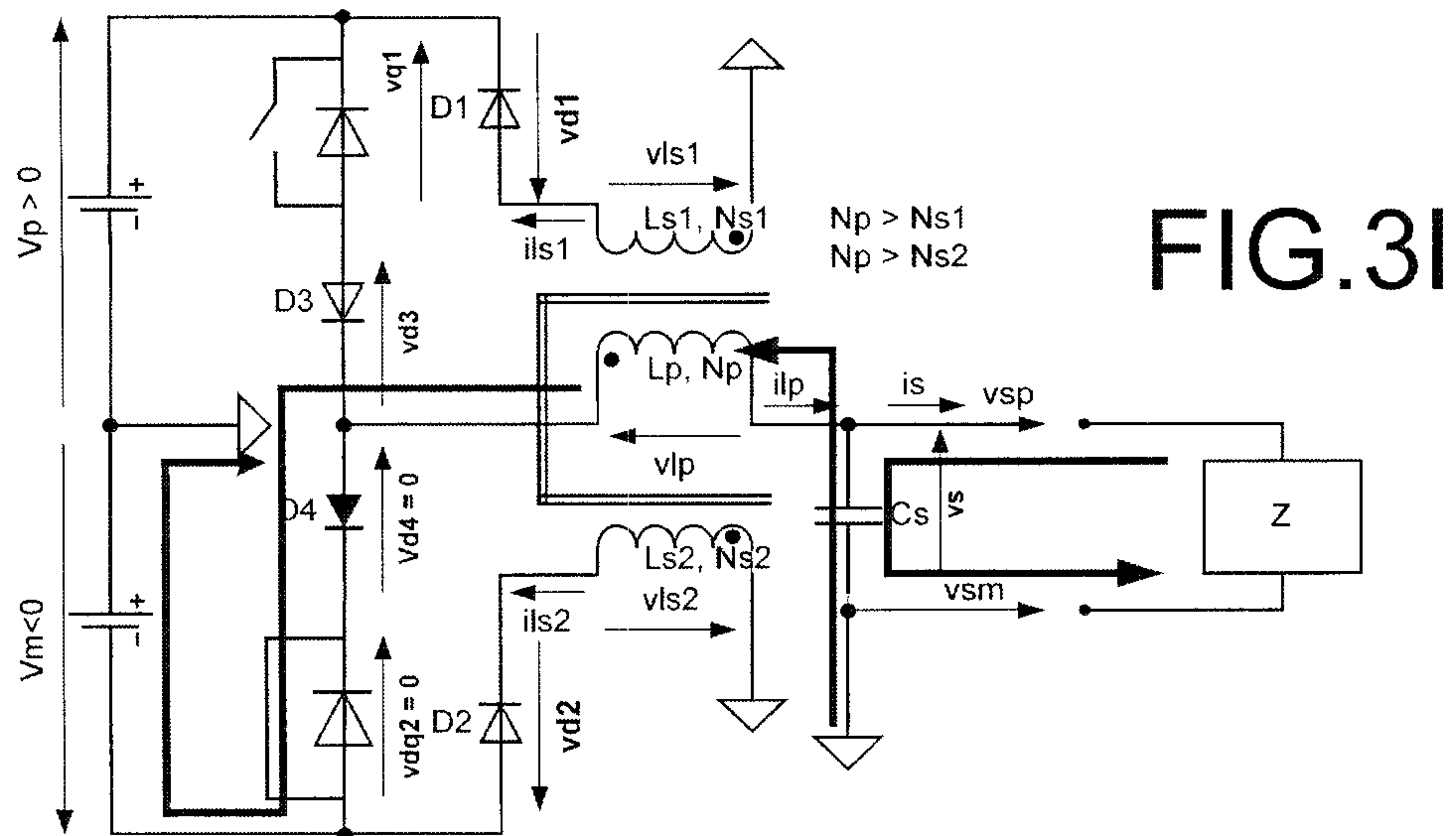


4 / 15

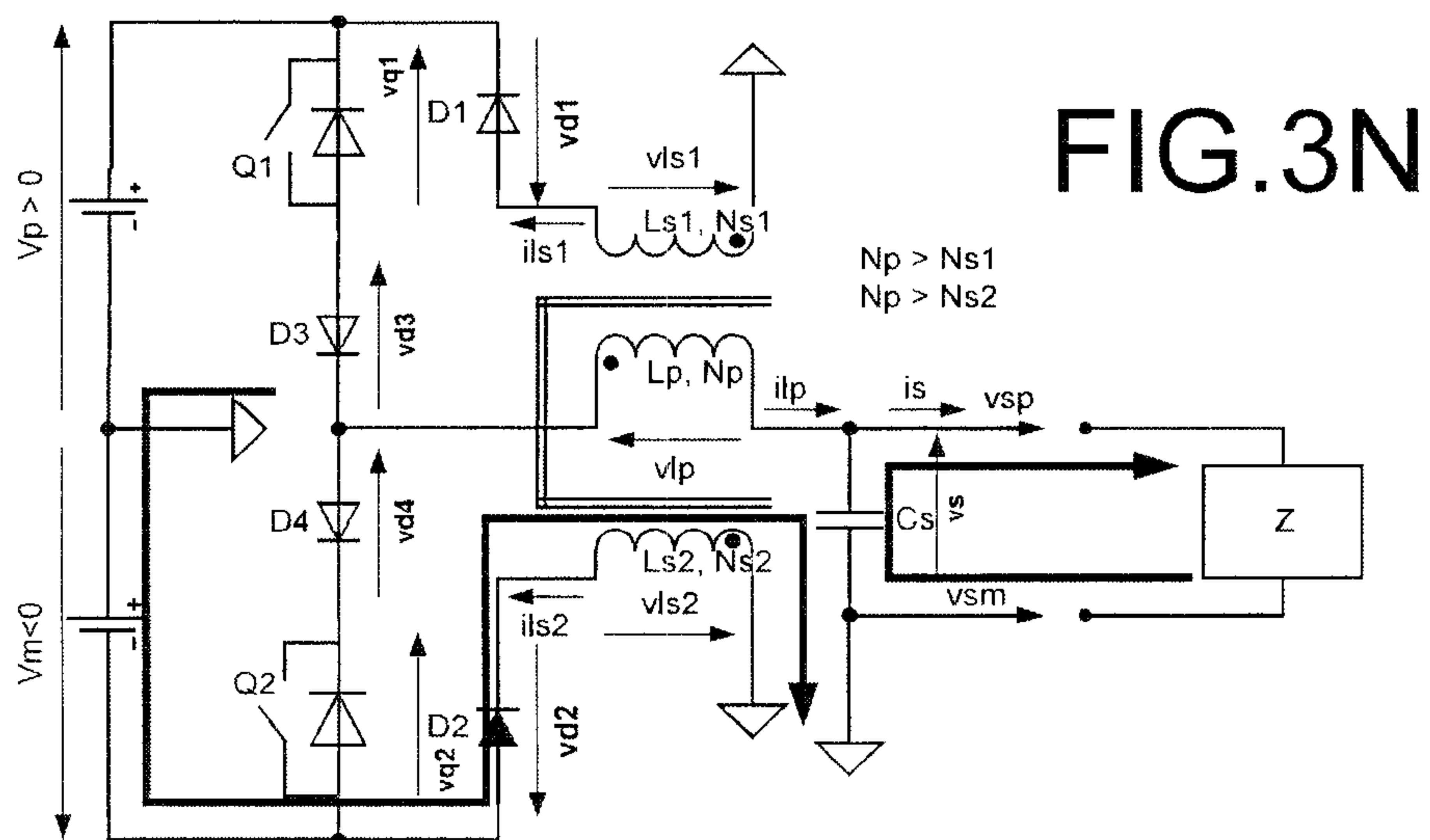
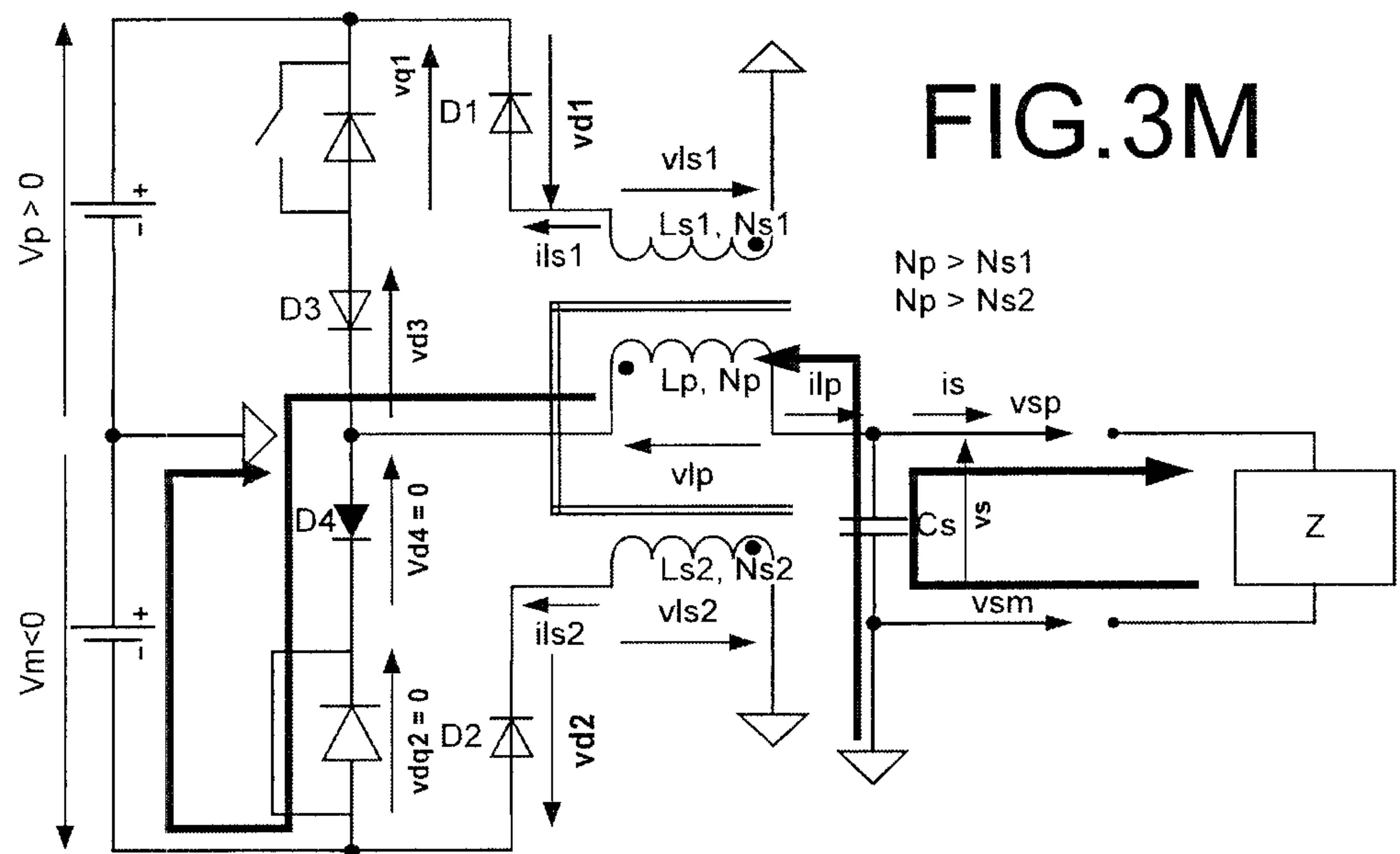
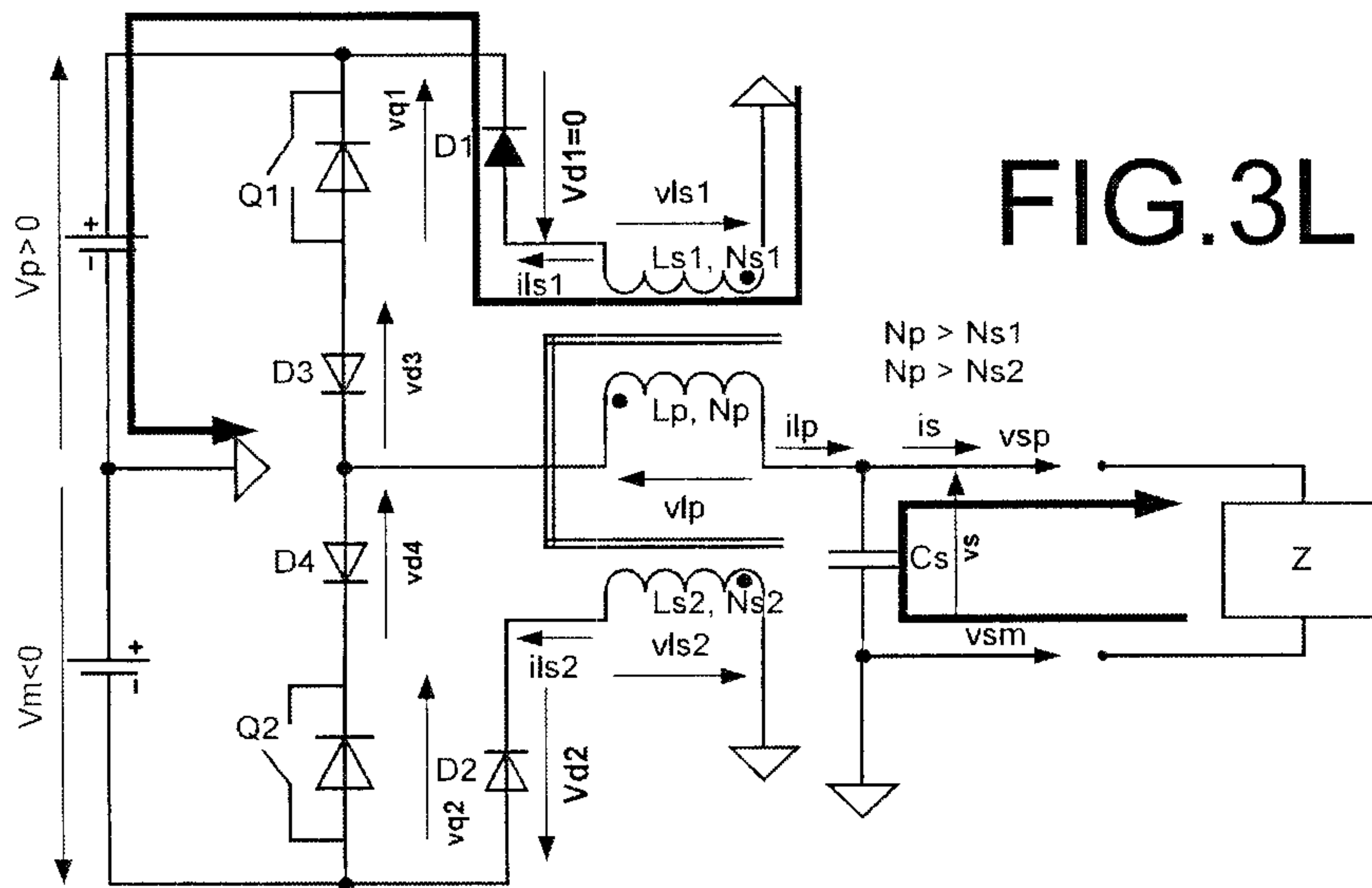




6 / 15



7 / 15



8 / 15

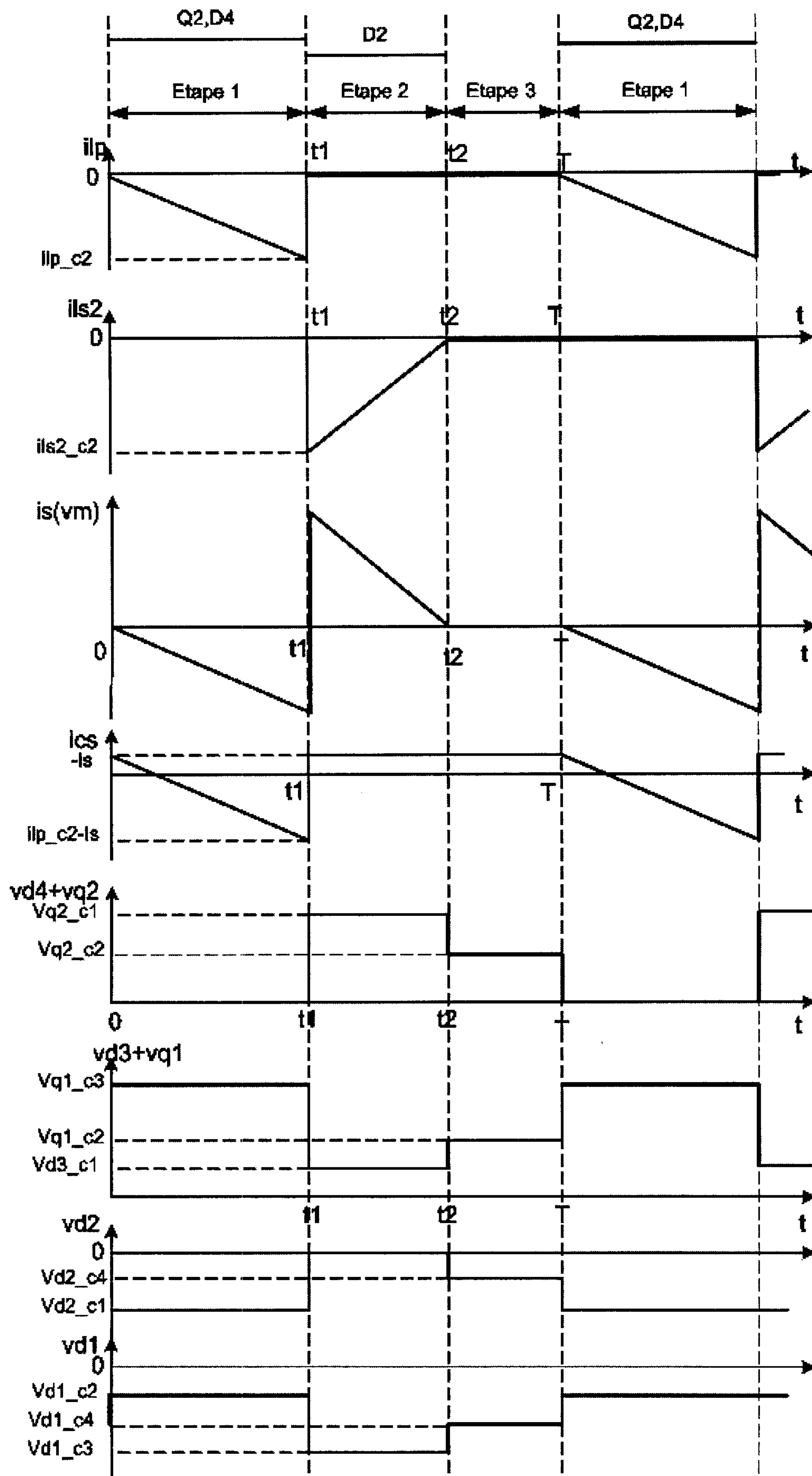


FIG.4A

9 / 15

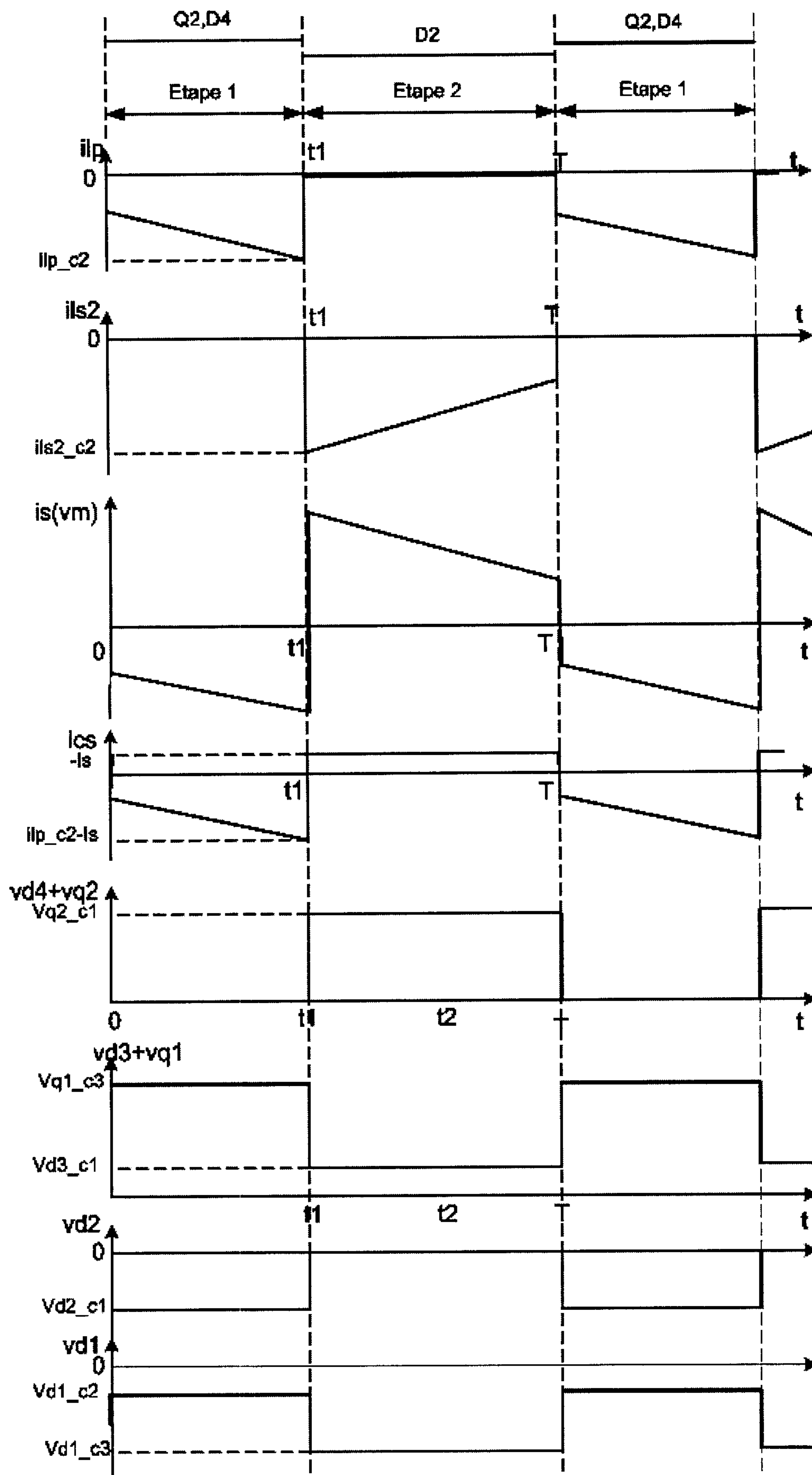


FIG.4B

10 / 15

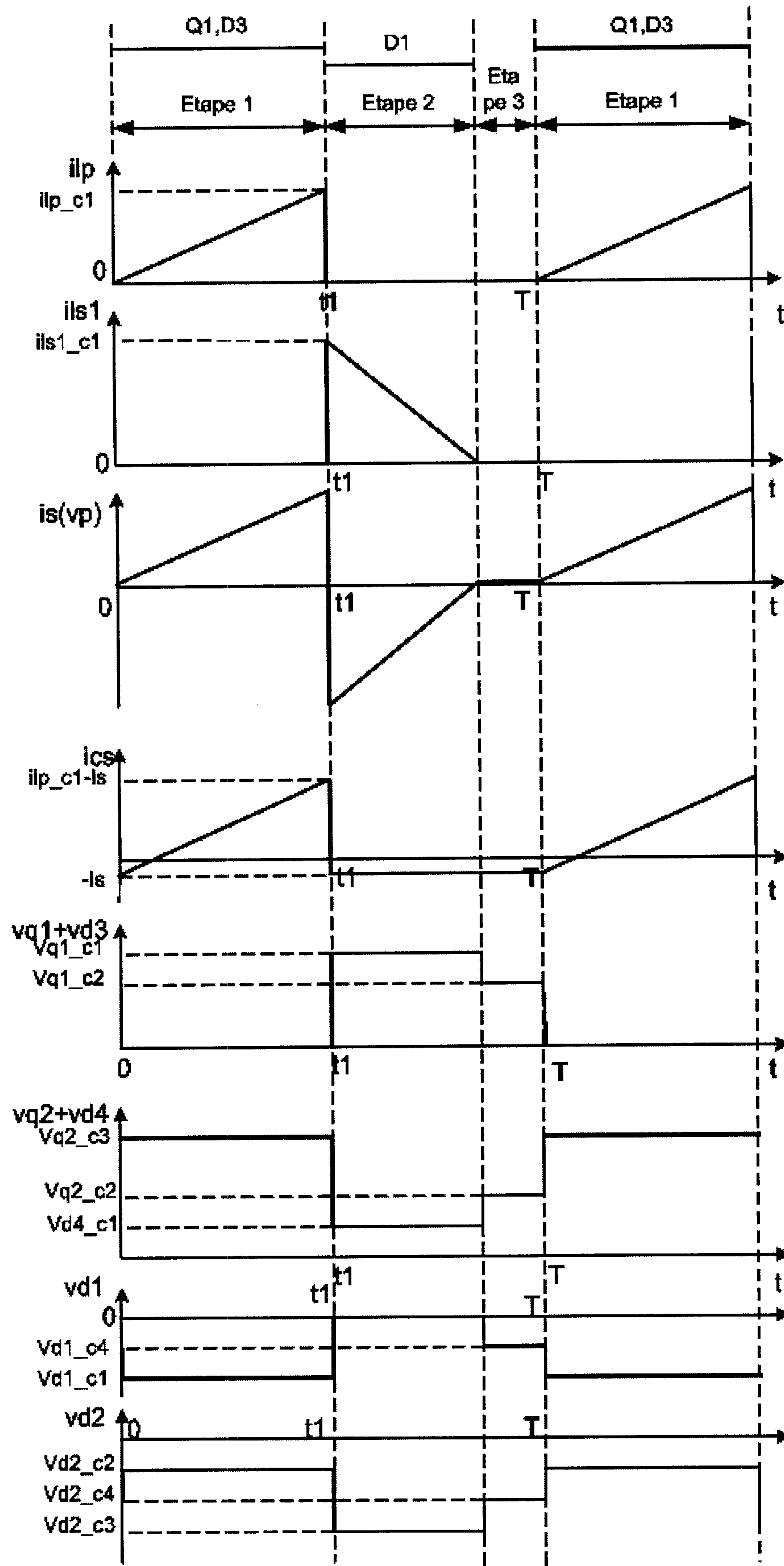


FIG.4C

11 / 15

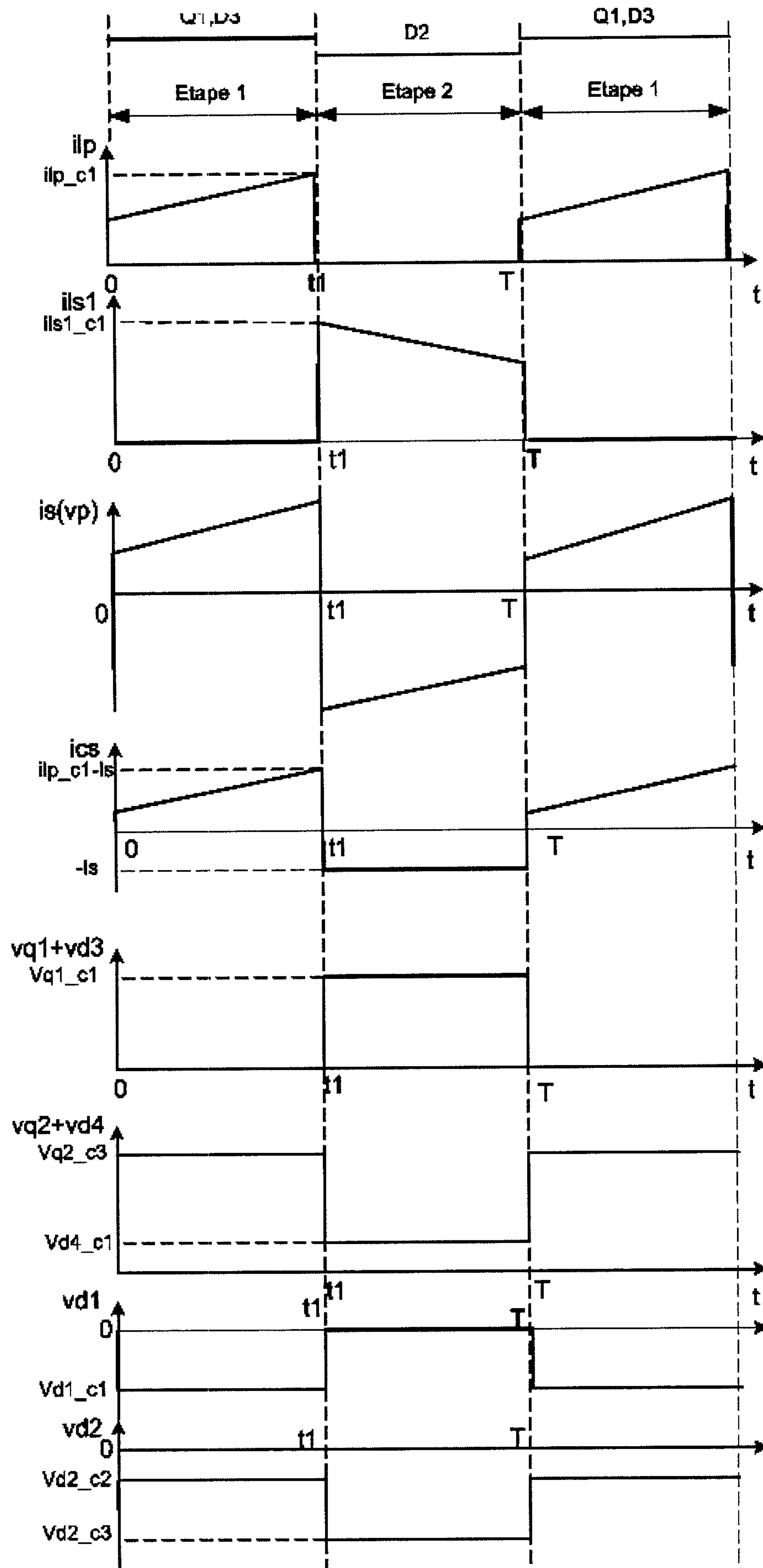


FIG.4D

12 / 15

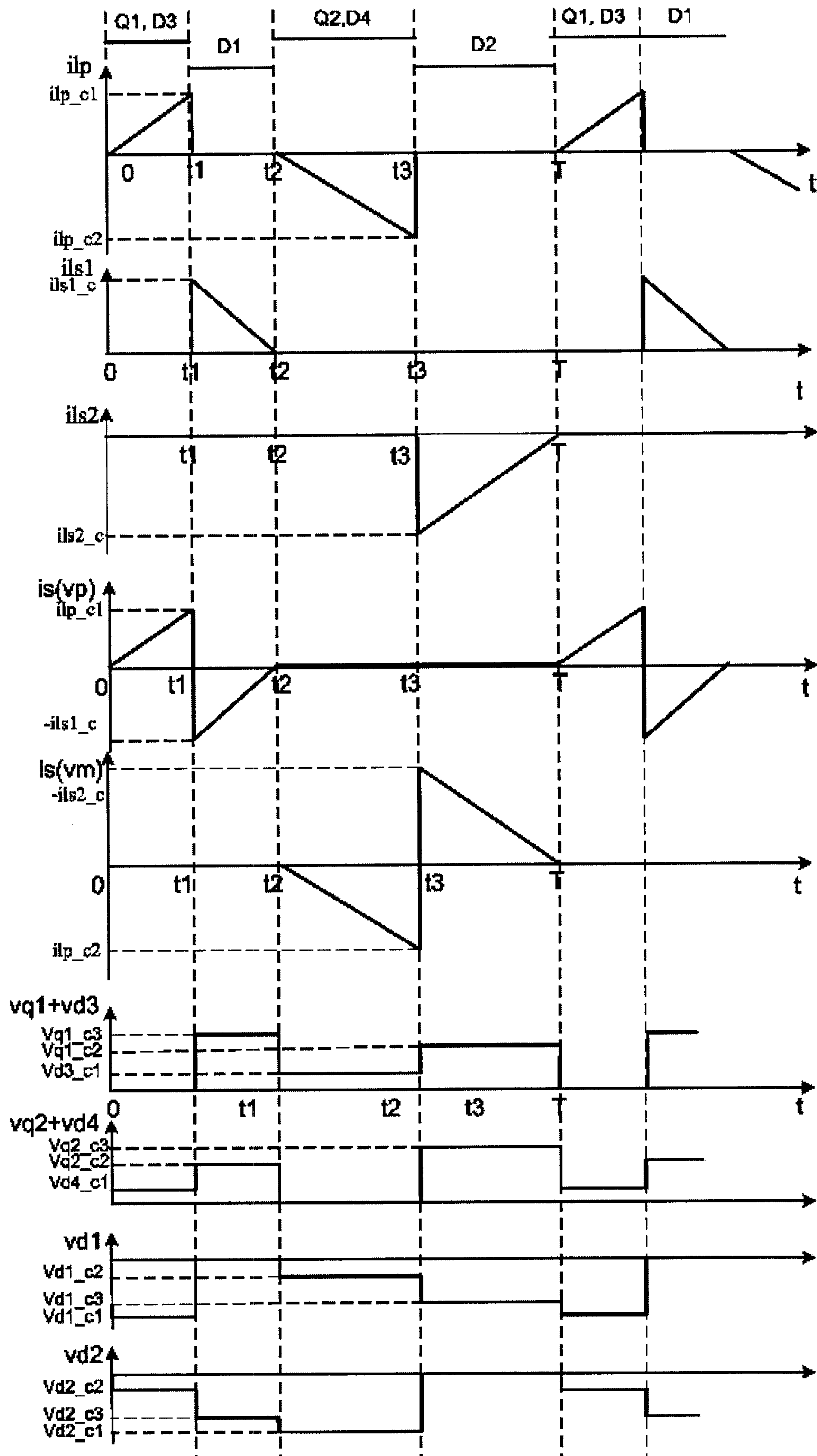


FIG.4E

13 / 15

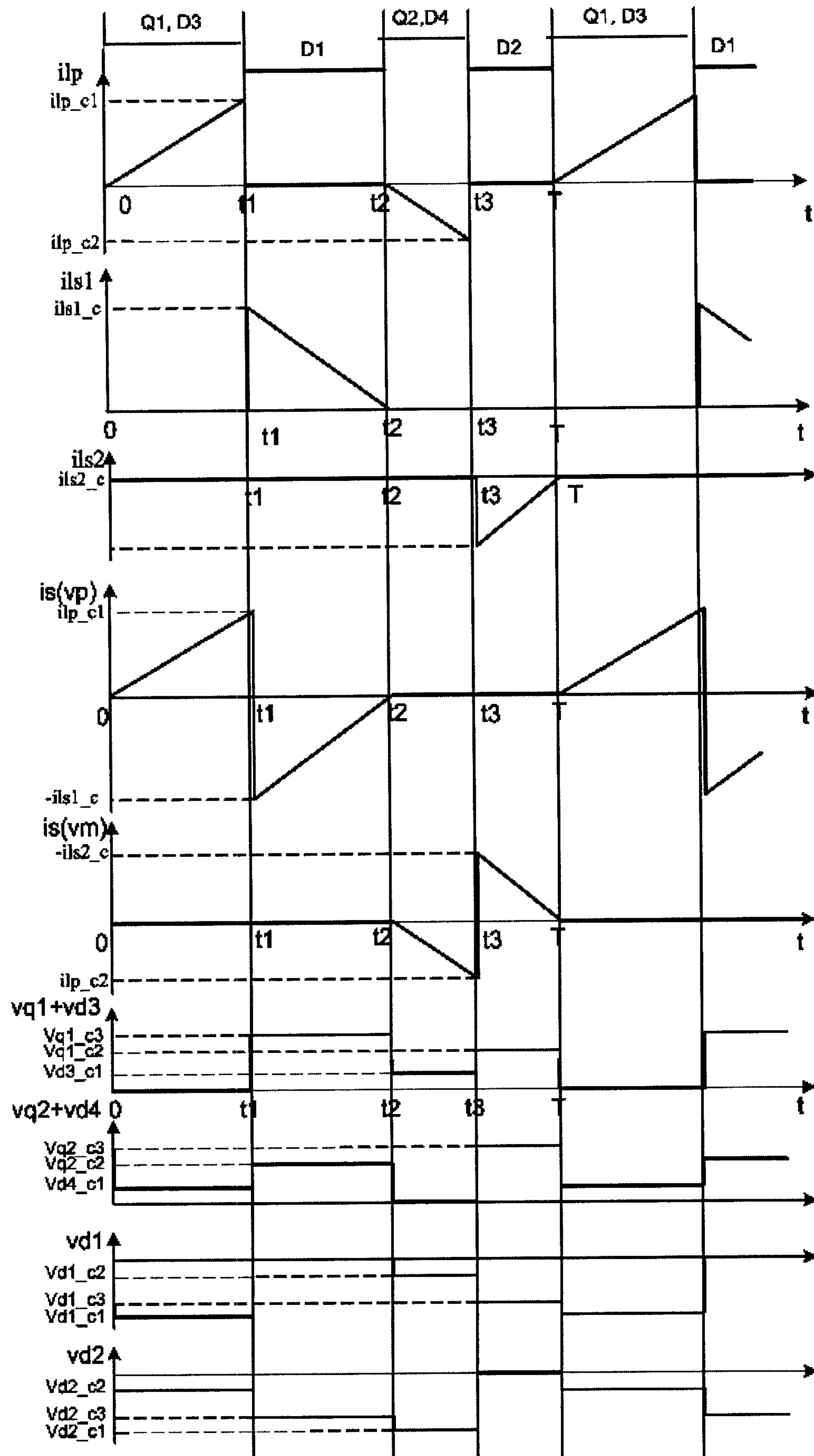


FIG.4F

14 / 15

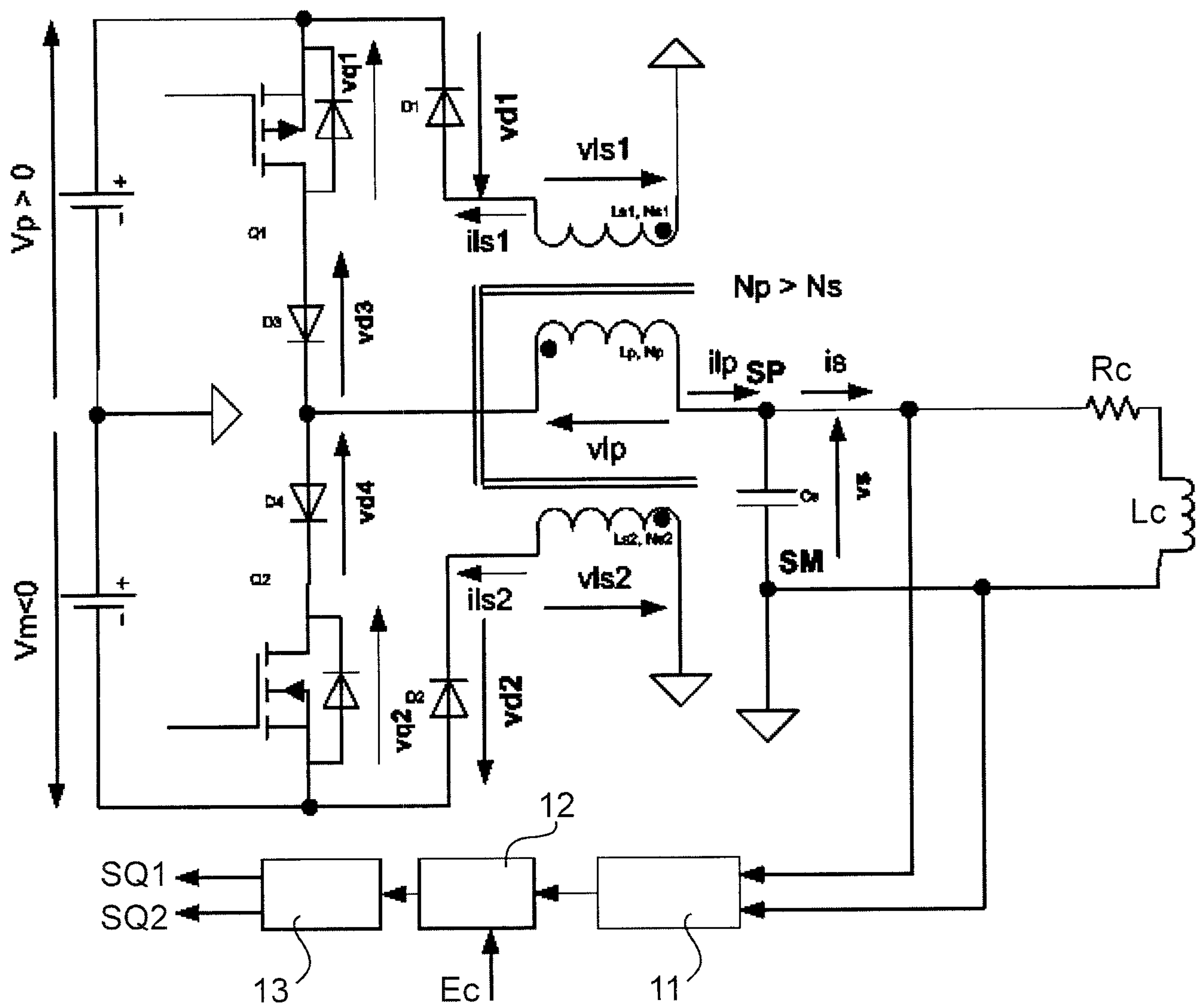


FIG.5A

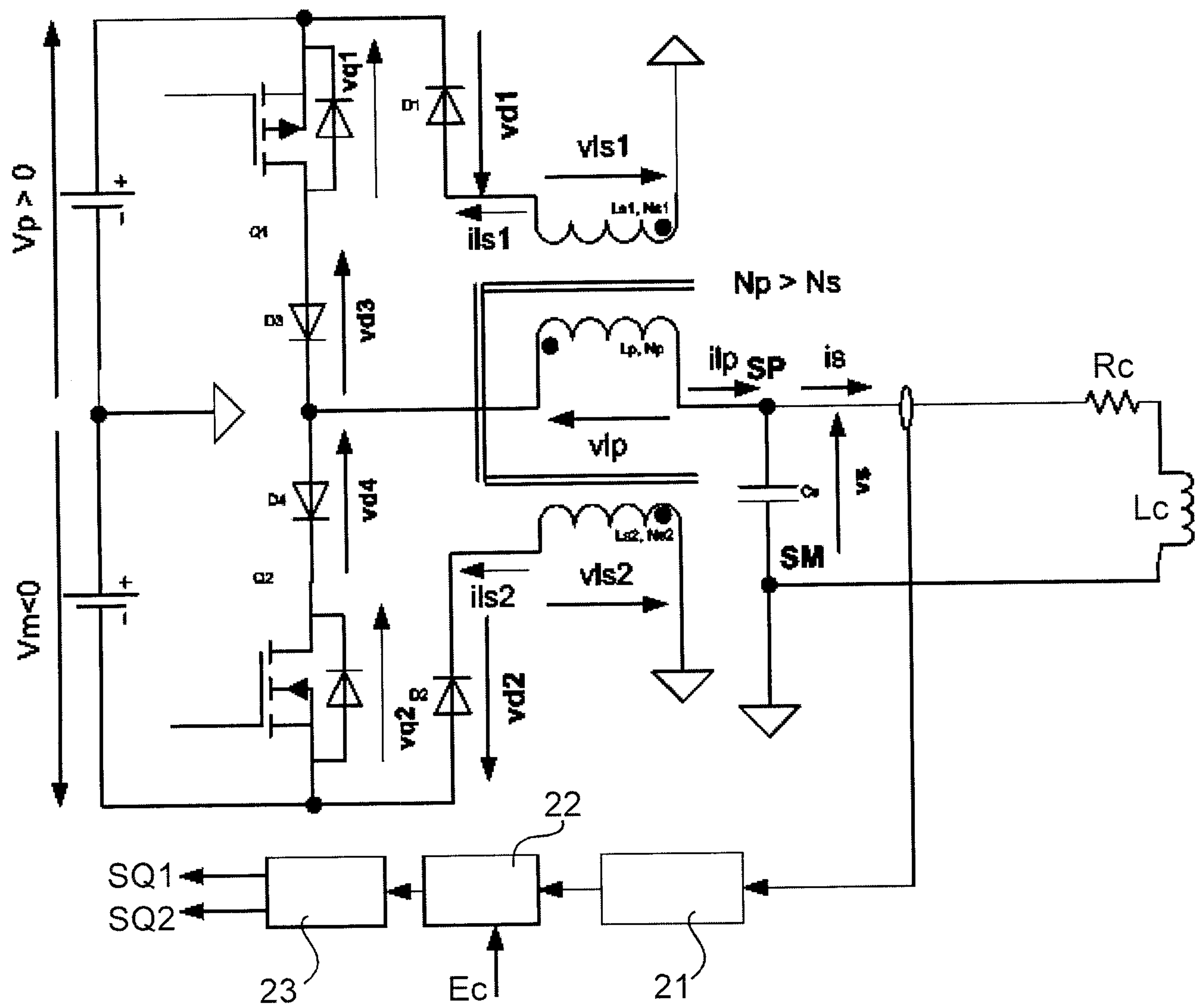


FIG.5B

