



(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: 2014/10/21

(30) Priorité/Priority: 2007/02/13 (FR07 53235)

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

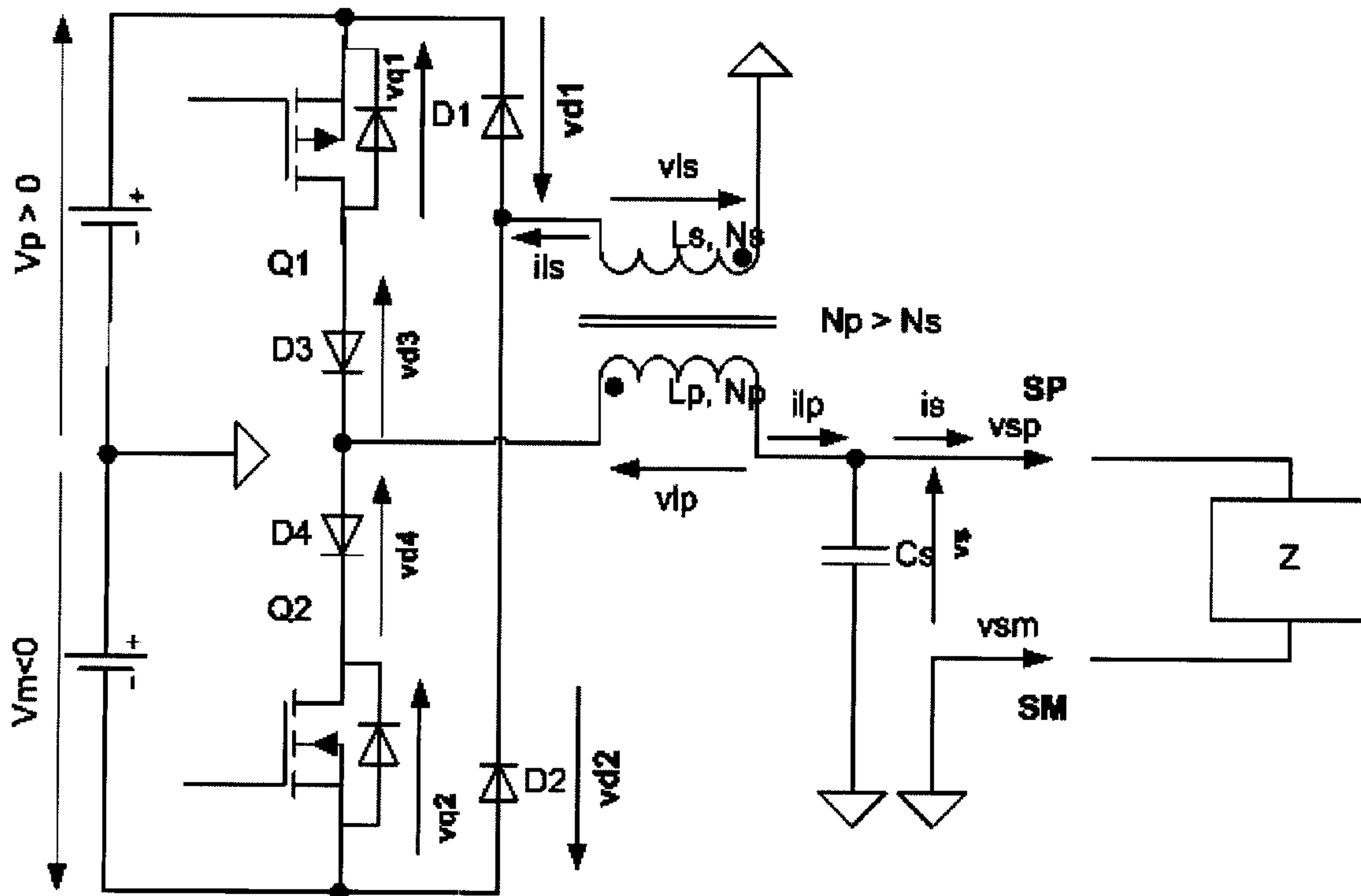
(72) Inventeur/Inventor:
LACOMBE, BERTRAND, FR

(73) Propriétaire/Owner:
HISPANO SUIZA, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

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

(54) Title: UNIPOLAR OR BIPOLAR CHOPPING CONVERTER WITH TWO 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 deux enroulements (L_p , L_s) 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
5 d'une charge (Z), il est proposé, selon la présente invention, un circuit à deux enroulements (L_p , L_s) 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
10 éléments sont de faible coût et de faible encombrement.

FIGURE 3

CONVERTISSEUR A DECOUPAGE UNIPOLAIRE OU BIPOLAIRE A DEUX 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 dans
tous les types d'équipement terrestre, naval ou aérien
utilisant ce type de convertisseur à découpage
notamment les commandes d'actuateur électromécanique
des automates de régulation pour turbomoteur.

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 tension alternativement positive et négative, les
5 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 charge, dont l'élément de stockage d'énergie pour le
10 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 commande qui est à première vue simple. Elles
15 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 grande dépendance vis-à-vis de la valeur de
20 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 entre les bornes de sortie du convertisseur ou entre
25 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 conséquence, on est contraint en pratique d'ajouter une
30 inductance en sortie du convertisseur 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 convertisseurs sont difficiles à rendre compatibles avec les normes d'émission aéronautiques, si on veut une fréquence de découpage élevée pour limiter l'encombrement des composants passifs des convertisseurs, 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 et présentera un encombrement non négligeable. 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 convertisseurs 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 1a. 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 V_m . La deuxième 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 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 R_c et d'une inductance L_c branchées en série. Le courant de sortie est mesuré par 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 E_c du moyen de régulation 2 reçoit un signal de consigne. Le signal de sortie du moyen de régulation 2 est adressé à 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 magnétiques, ce qui conduit à un coût relativement élevé et un encombrement du circuit relativement grand.

EXPOSE DE L'INVENTION

Afin de diminuer le coût et l'encombrement 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 deux enroulements couplés sur un seul noyau magnétique. Il est alors nécessaire d'ajouter deux
5 diodes au circuit, mais ces éléments sont de faible 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
10 masse, et délivrant une tension de sortie entre une première borne de sortie et une deuxième borne de sortie, comprenant deux enroulements bobinés en opposition autour d'un noyau magnétique, le nombre de spires du deuxième enroulement étant supérieur au
15 nombre de spires du premier enroulement, la première extrémité du premier enroulement étant reliée à un point milieu d'une première branche reliant la tension positive à la tension négative et comprenant une première diode et une deuxième diode montées en
20 inverse, le point milieu de la première branche étant situé entre la première diode et la deuxième diode, la deuxième extrémité du premier enroulement étant reliée à la masse, la première extrémité du deuxième enroulement étant reliée à un point milieu d'une
25 deuxième branche reliant la tension positive à la tension négative, la partie de la deuxième branche reliant son point milieu à la tension positive comprenant, disposés en série, un premier moyen formant interrupteur et une troisième diode montée en direct
30 par rapport à la tension positive et formant ensemble un interrupteur unidirectionnel à pouvoir de blocage

direct et inverse, la partie de la deuxième branche
reliant son point milieu à la tension négative
comprenant, disposés en série, un deuxième moyen
formant interrupteur et une quatrième diode montée en
5 direct par rapport à la tension négative et formant
ensemble un interrupteur unidirectionnel à pouvoir de
blocage direct et inverse, la deuxième extrémité du
deuxième enroulement étant reliée à la borne de sortie.

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

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

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

Le convertisseur peut comprendre en outre
25 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 entrée d'un moyen de régulation dont une
deuxième entrée reçoit un signal de consigne, le moyen
30 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 deuxième moyen formant interrupteur, le convertisseur étant ainsi configuré en
5 source de tension.

Le convertisseur peut comprendre en outre un moyen de mesure du courant de sortie (is) du convertisseur, ce moyen de mesure délivrant un signal de sortie représentatif du courant de sortie du
10 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 modulateur dont une première sortie envoie un signal de commande au premier moyen
15 formant interrupteur et dont une deuxième sortie envoie un signal de commande au deuxième moyen formant interrupteur, le convertisseur étant configuré en source de courant.

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

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

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

30 - 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 troisième diodes sont bloquées pendant une première partie de cycle, le convertisseur fonctionnant en mode
5 continu ou en mode discontinu,

- une deuxième étape, succédant à la première étape, au cours de laquelle, les premier et deuxième moyens formant interrupteur sont ouverts, la deuxième diode est passante et les première, troisième
10 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 en mode discontinu et achevant le cycle si le convertisseur fonctionne en mode continu,

15 - 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 et les première, deuxième, troisième et quatrième diodes
20 sont bloquées pendant une troisième partie de cycle s'achevant à la fin du cycle.

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

25 - 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, deuxième et quatrième diodes sont bloquées pendant une première
30 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,

10 - 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
15 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
20 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, la deuxième diode étant bloquée
25 si la tension à la première sortie par rapport à la masse est, en valeur absolue, suffisamment faible, 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,

5 - une troisième étape, succédant à la 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 première, deuxième et troisième diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle,

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

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

20 - 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, deuxième et quatrième diodes sont bloquées pendant une première
25 partie du cycle,

- 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
30 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 passante, le premier moyen formant interrupteur est ouvert et les deuxième et troisième diodes sont bloquées, la première diode est bloquée si la tension à la première sortie par rapport à la masse est, en valeur absolue, suffisamment faible, pendant une troisième partie du cycle,

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

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

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

- la figure 1b est un schéma électrique du convertisseur de la figure 1a utilisé en tant que source de courant à découpage par ajout d'un moyen de
30 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 et qui a conduit au développement de la présente invention,

5 - la figure 3 est un schéma électrique d'un convertisseur à découpage fournissant une tension continue aux bornes d'une charge, selon l'invention,

- les figures 4A à 4N illustrent le mode de fonctionnement de la présente invention,

10 - les figures 5A à 5F sont des chronogrammes correspondant à différents modes de fonctionnement illustrés par les figures 4A à 4N,

15 - la figure 6a montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en tant que source de tension,

- la figure 6b montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en tant que source de courant.

20 **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, et qui a conduit au développement de la présente invention. Ce
25 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
30 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 L_{s1} et L_{s2} 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 L_p constitue le primaire de l'élément formant transformateur. La deuxième extrémité de l'enroulement L_{s1} est reliée à la tension V_p par l'intermédiaire d'une diode D1 montée en inverse par rapport à la tension V_p. La deuxième extrémité de l'enroulement L_{s2} est reliée à la tension V_m par l'intermédiaire d'une diode D2 montée en inverse par rapport à la tension V_m. L'enroulement L_p 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 L_p 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 V_p. 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 V_m. Un condensateur de lissage C_s 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 bidirectionnelle et une capacité de blocage direct.

5 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 $N_{s1} = N_{s2} = 0,75 N_p$.

10 La figure 2 mentionne les tensions suivantes :

- v_{q1} aux bornes de Q_1 ,
- v_{q2} aux bornes de Q_2 ,
- v_{d1} aux bornes de D_1 ,
- 15 - v_{d2} aux borne de D_2 ,
- v_{d3} aux bornes de D_3 ,
- v_{d4} aux bornes de D_4 ,
- v_{ls1} aux bornes de L_{s1} ,
- v_{ls2} aux bornes de L_{s2} ,
- 20 - 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 :

- 25 - 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 convertisseur, soit le courant de sortie.

30 La source de courant de la figure 2 présente un avantage certain par rapport à la source de

courant de l'art antérieur illustrée par la figure 1a. Un relevé de mesures effectuées sur un montage tel que représenté à la figure 2 a permis de constater que, de manière inattendue, l'anode de la diode D1 et la cathode de la diode D2 étaient toujours au même potentiel. Ces deux points ont donc été électriquement reliés et l'un des enroulements secondaires a été supprimé. C'est ce que montre la figure 3 où l'enroulement secondaire subsistant est appelé Ls, son nombre de spires est tel que Ns est inférieur au nombre de spires Np de l'enroulement primaire Lp. La figure 3 montre une charge Z branchée en sortie du convertisseur.

Le fonctionnement du convertisseur à découpage va maintenant être expliqué à l'aide des figures 4A à 4N en fonction des commandes (fermeture, ouverture) envoyées aux interrupteurs Q1 et Q2. Sur ces 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 :

$(v_s > 0, i_s > 0)$ et $(v_s < 0, i_s < 0)$.

Les figures 4A à 4F concernent un mode de fonctionnement où un seul transistor Q1 ou Q2 (formant interrupteur) conduit lorsque le courant de sortie est positif ($i_s > 0$) ou lorsque le courant de sortie est négatif ($i_s < 0$).

Les figures 4A à 4C 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 4A 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,
5 la commande du circuit est telle que :

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

La figure 4B illustre une deuxième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_1$ et
10 $t=t_2$. 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,
- Q1, Q2, D1, D3 et D4 sont bloqués.

15 La figure 4C 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,
- 20 - le courant i_s circulant dans la charge est fourni par l'énergie accumulée dans le condensateur Cs.

La figure 5A montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par
25 les figures 4A à 4C pour un mode discontinu, donc pour un cycle de fonctionnement comportant trois étapes.

La figure 5B montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par
les figures 4A et 4B pour un mode continu, donc un
30 cycle de fonctionnement comportant deux étapes.

Les figures 4D à 4F 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 4D 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 4E 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 4F 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 est fourni par l'énergie accumulée dans le condensateur C_s .

La figure 5C montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 4D à 4F pour un mode discontinu, donc pour un cycle de fonctionnement comportant trois étapes.

La figure 5D montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par

les figures 4D et 4E pour un mode continu, donc pour un cycle de fonctionnement comportant deux étapes.

Les figures 4G à 4N 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 en mode continu.

Les figures 4G à 4J 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 4G 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 est telle que :

- Q1 et D3 conduisent,
- Q2, D1 et D4 sont bloqués,
- D2 est bloquée si la tension en sortie SP par rapport à la masse est, en valeur absolue, suffisamment faible.

La figure 4H 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 :

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

La figure 4I 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, D1, D2 et D3 sont bloqués.

La figure 4J 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
5 est telle que :

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

Les figures 4K à 4N concernent un mode de fonctionnement où le courant de sortie i_s est positif,
10 pour un cycle de fonctionnement (de $t=0$ à $t=T$).

La figure 4K 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 est telle que :

- 15
- Q1 et D3 conduisent,
 - Q2, D1, D2 et D4 sont bloqués.

La figure 4L 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
20 est telle que :

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

La figure 4M illustre une troisième étape du cycle de fonctionnement, entre les instants $t=t_2$ et
25 $t=t_3$. 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 en sortie SP
30 par rapport à la masse est, en valeur absolue, suffisamment faible.

La figure 4N 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

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

La figure 5E montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 4G à 4J, donc pour un cycle de
10 fonctionnement comportant quatre étapes.

La figure 5F montre les chronogrammes correspondant au mode de fonctionnement illustré par les figures 4K à 4N, donc pour un cycle de fonctionnement comportant également quatre étapes.

15 La figure 6a 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
20 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 6b montre le principe d'utilisation du convertisseur selon l'invention en
25 tant que source de courant par l'ajout d'un moyen de mesure 21 de courant de sorties i_s du convertisseur, d'un correcteur adéquat 22 recevant une consigne E_c et d'un modulateur adéquat 23. Les sorties du modulateur 23 fournissent les tensions de commande SQ1 et SQ2 des
30 transistors Q1 et Q2.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur à découpage alimenté par une tension positive (V_p) et une tension négative (V_m) 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 deux enroulements (L_s , L_p) bobinés en opposition autour d'un noyau magnétique, le nombre de spires du deuxième enroulement (L_p) étant supérieur au nombre de spires du premier enroulement (L_s), la première extrémité du premier enroulement (L_s) étant reliée à un point milieu d'une première branche reliant la tension positive (V_p) à la tension négative (V_m) et comprenant une première diode (D_1) et une deuxième diode (D_2) montées en inverse, le point milieu de la première branche étant situé entre la première diode (D_1) et la deuxième diode (D_2), la deuxième extrémité du premier enroulement (L_s) étant reliée à la masse, la première extrémité du deuxième enroulement (L_p) étant reliée à un point milieu d'une deuxième branche reliant la tension positive (V_p) à la tension négative (V_m), la partie de la deuxième branche reliant son point milieu à la tension positive (V_p) comprenant, disposés en série, un premier moyen formant interrupteur (Q_1) et une troisième diode (D_3) montée en direct par rapport à la tension positive (V_p) et formant ensemble un interrupteur unidirectionnel à pouvoir de blocage direct et inverse, la partie de la deuxième branche reliant son 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 formant ensemble un

5 interrupteur unidirectionnel à pouvoir de blocage direct et inverse, la deuxième extrémité du deuxième enroulement (L_p) étant reliée à la borne de sortie (S).

2. Convertisseur à découpage selon la

10 revendication 1, dans lequel un condensateur de lissage (C_s) est branché entre la première borne de sortie (SP) du convertisseur et la masse.

3. Convertisseur à découpage selon l'une

15 des revendications 1 ou 2, dans lequel, dans la deuxième 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

20 positive ou négative respectives et à disposer les troisième (D_3) et quatrième (D_4) diodes du côté du point milieu de la deuxième branche.

4. Convertisseur à découpage selon l'une

25 quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les premier (Q_1) et deuxième (Q_2) moyens formant interrupteur sont choisis parmi les transistors MOS, les transistors bipolaires et les transistors IGBT ou tout autre interrupteur ayant une capacité de

30 conduction bidirectionnelle et une capacité de blocage direct.

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 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 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.

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 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 (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.

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

5

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

10

9. Equipement terrestre, naval ou 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 à 6.

11. 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, 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), le procédé comprenant 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

30

(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,

5 - 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
10 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,

15 - 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
20 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
25 revendications 1 à 6, 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 borne de sortie
30 (SM), le procédé comprenant 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 (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, 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 (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, 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, les premier (D1), deuxième (D2), troisième (D3) 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 convertisseur à découpage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, alimenté par une tension positive

(Vp) et une tension négative (Vm) par rapport à la masse, le convertisseur délivrant un courant de sortie (is) dans une charge (Z) branchée entre la première borne de sortie (SP) et la deuxième borne de sortie (SM), le procédé comprenant 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 :

- 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, la deuxième diode (D2) étant bloquée si la tension à la première sortie (SP) par rapport à la masse est, en valeur absolue, suffisamment faible pendant une première partie du cycle,

- 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,

- 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 première (D1), deuxième (D2) et troisième (D3) diodes sont bloquées, pendant une troisième partie du cycle,

- 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
5 (D1), troisième (D3) et quatrième (D4) diodes sont bloquées, pendant une quatrième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.

14. Procédé de fonctionnement d'un
10 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, le convertisseur délivrant un courant de sortie (i_s) dans une charge (Z) branchée
15 entre la première borne de sortie (SP) et la deuxième borne de sortie (SM), le procédé comprenant 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 :

20 - 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 les première (D1), deuxième (D2) et quatrième (D4) diodes sont bloquées
25 pendant une première partie du cycle,

- 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
30 deuxième (D2), troisième (D3) et quatrième (D4) 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 (Q2) est fermé, la quatrième diode (D4) est passante, le premier moyen formant interrupteur (Q1) est ouvert, les deuxième (D2) et troisième (D3) diodes sont bloquées, la première diode (D1) est bloquée si la tension à la première sortie (SP) par rapport à la masse est, en valeur absolue, suffisamment faible, pendant une troisième partie du cycle,

- 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 bloquées, pendant une quatrième partie du cycle s'achevant à la fin du cycle.



2 / 25

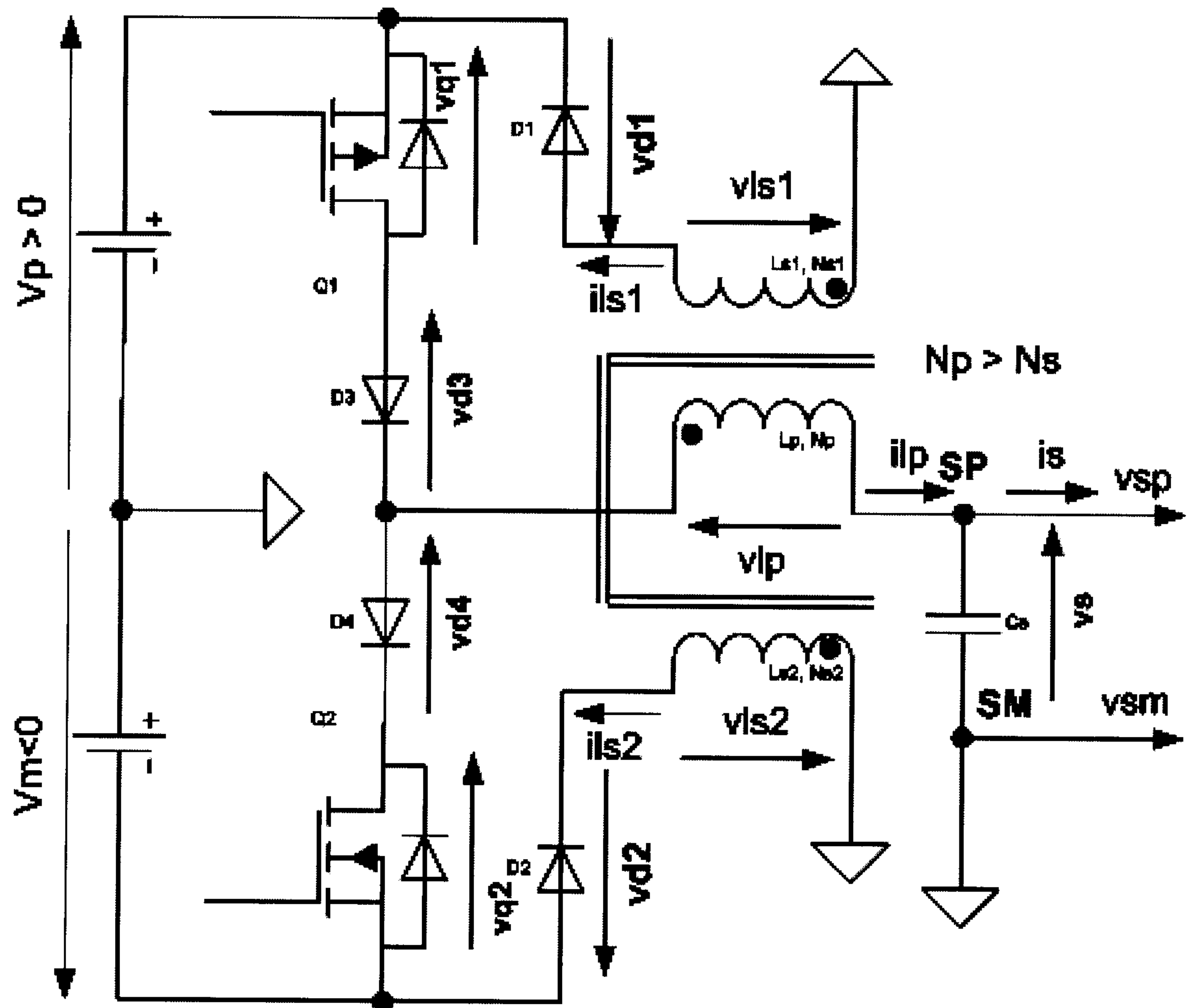


FIG.2

3 / 25

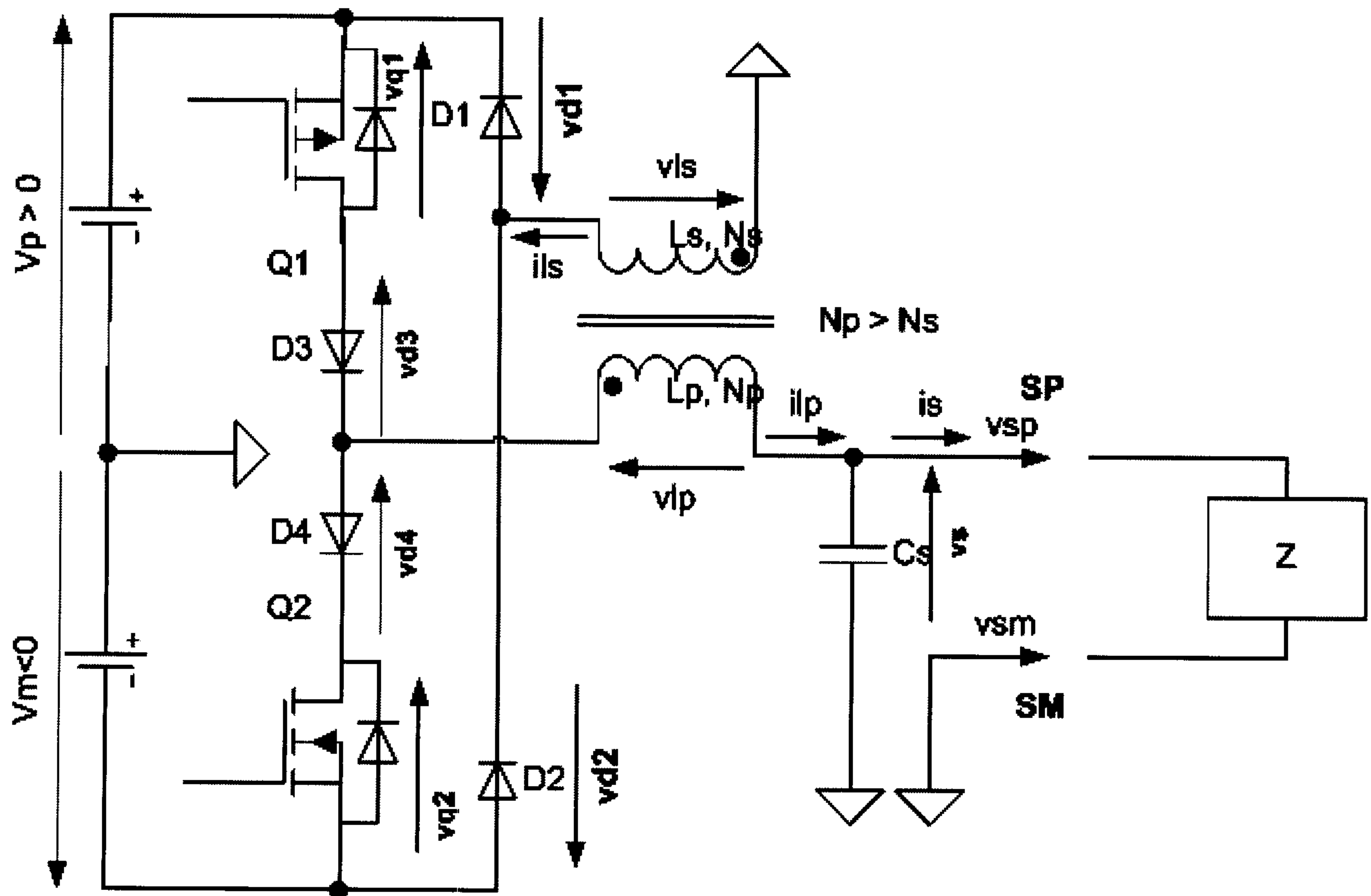


FIG.3

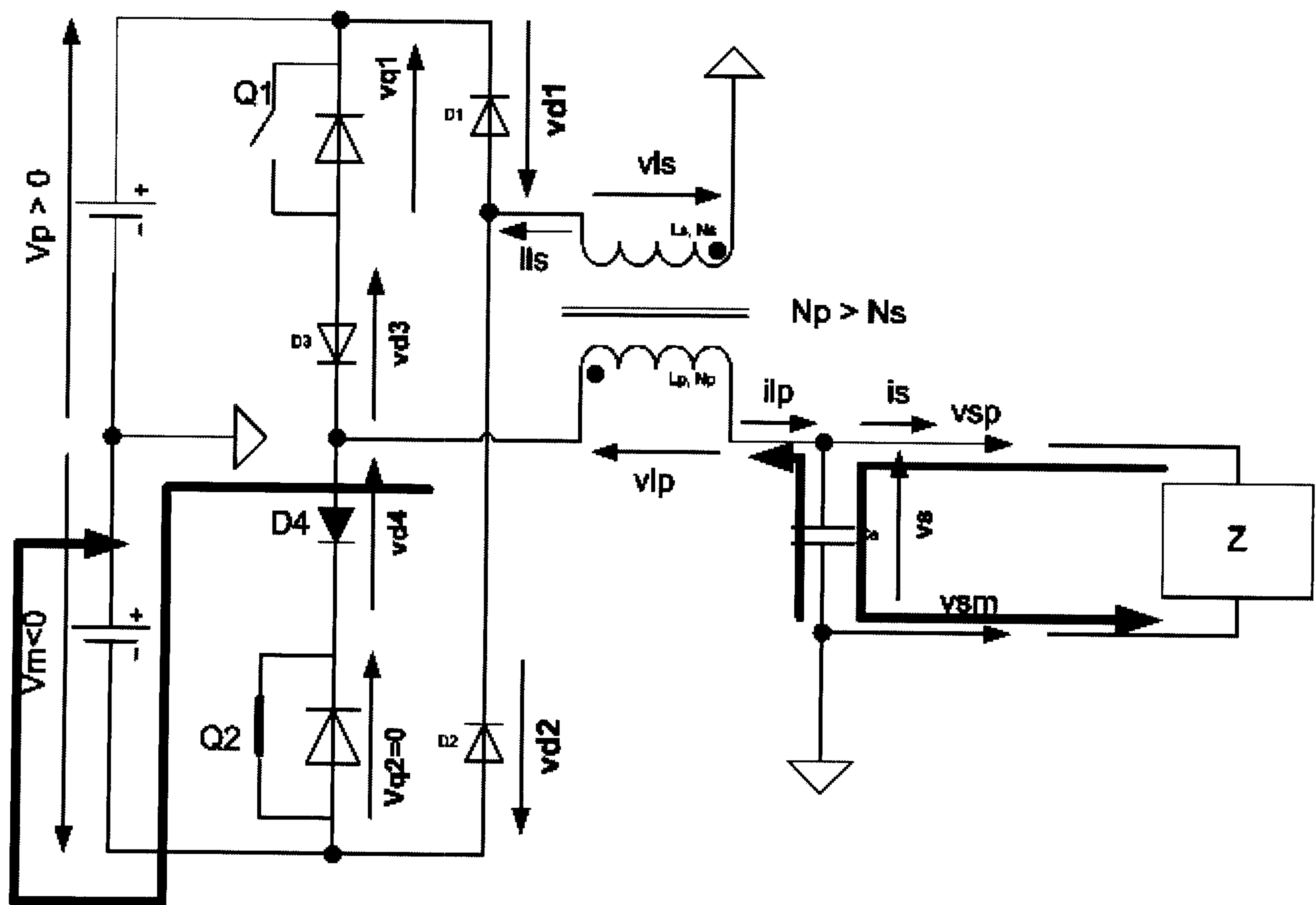


FIG. 4A

5 / 25

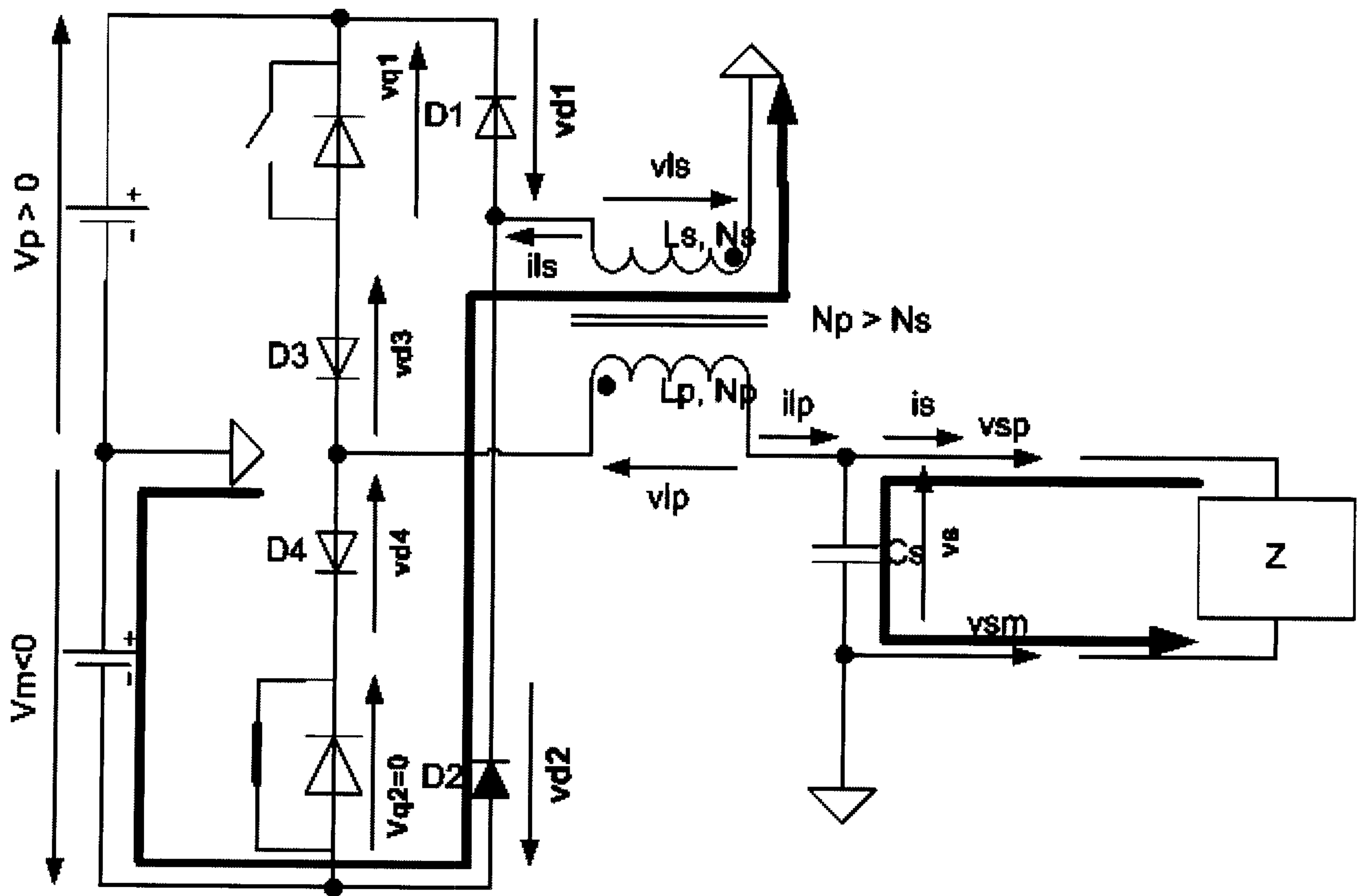


FIG.4B

6 / 25

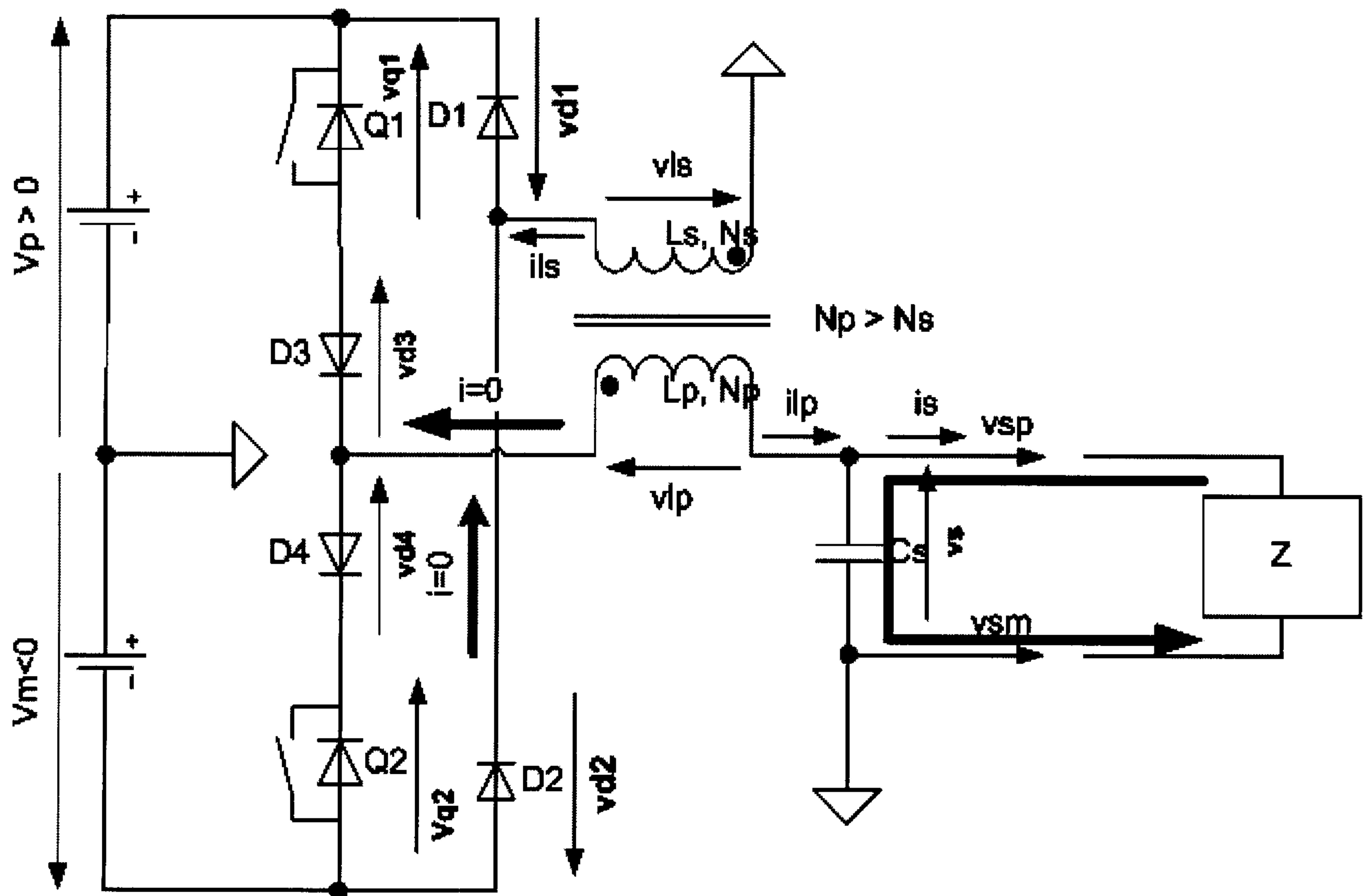


FIG.4C

7 / 25

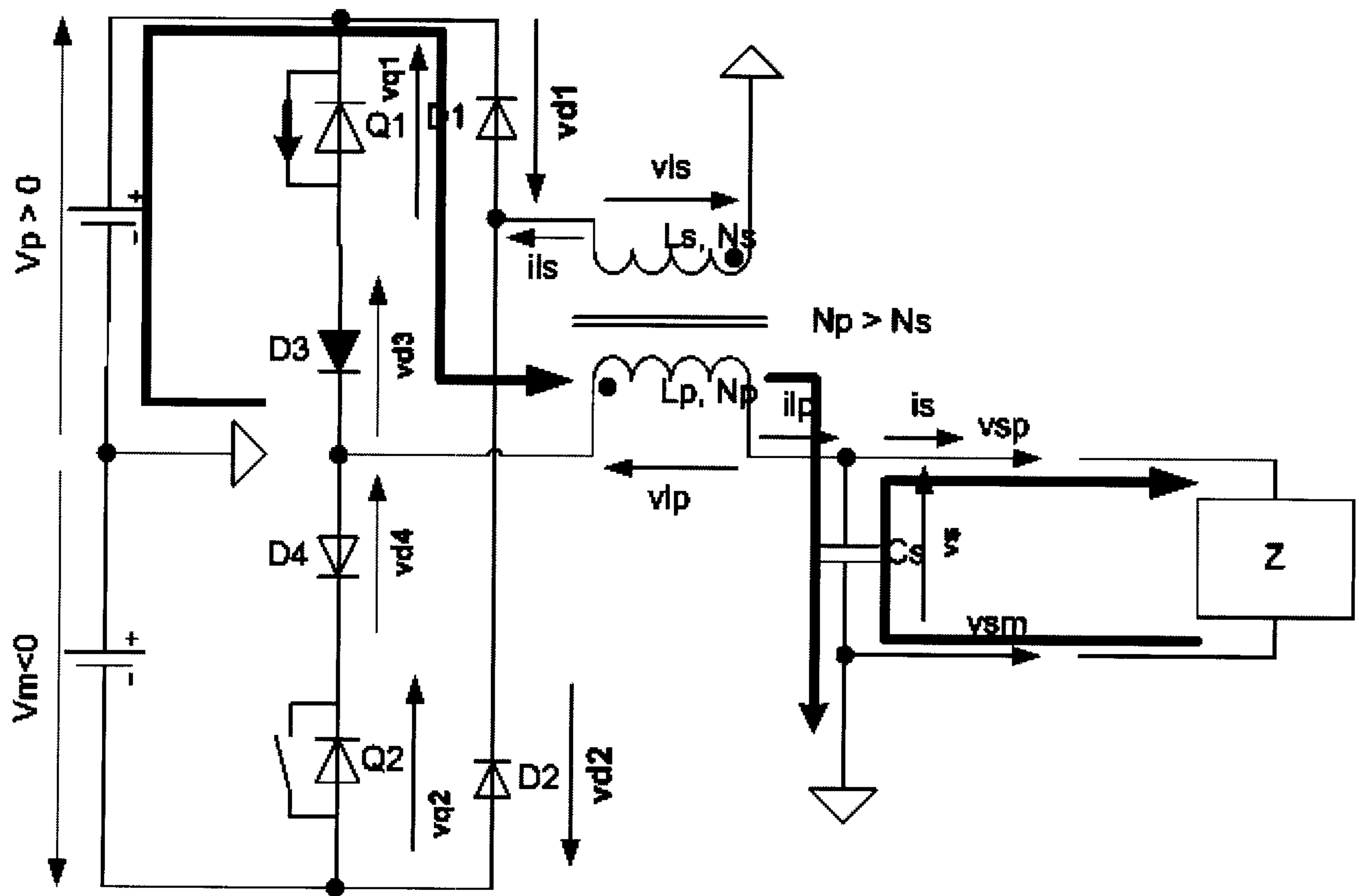


FIG.4D

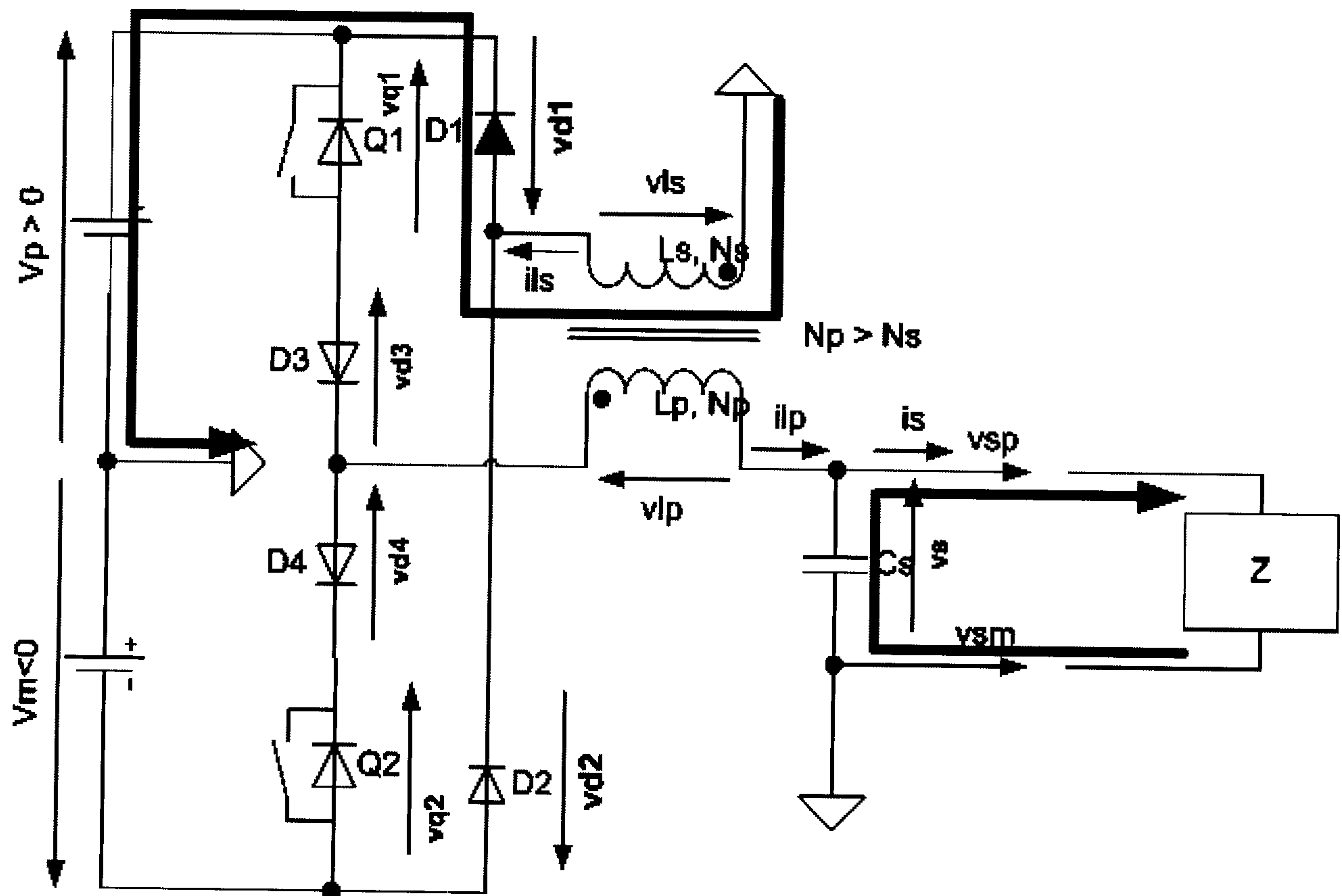


FIG. 4E

9 / 25

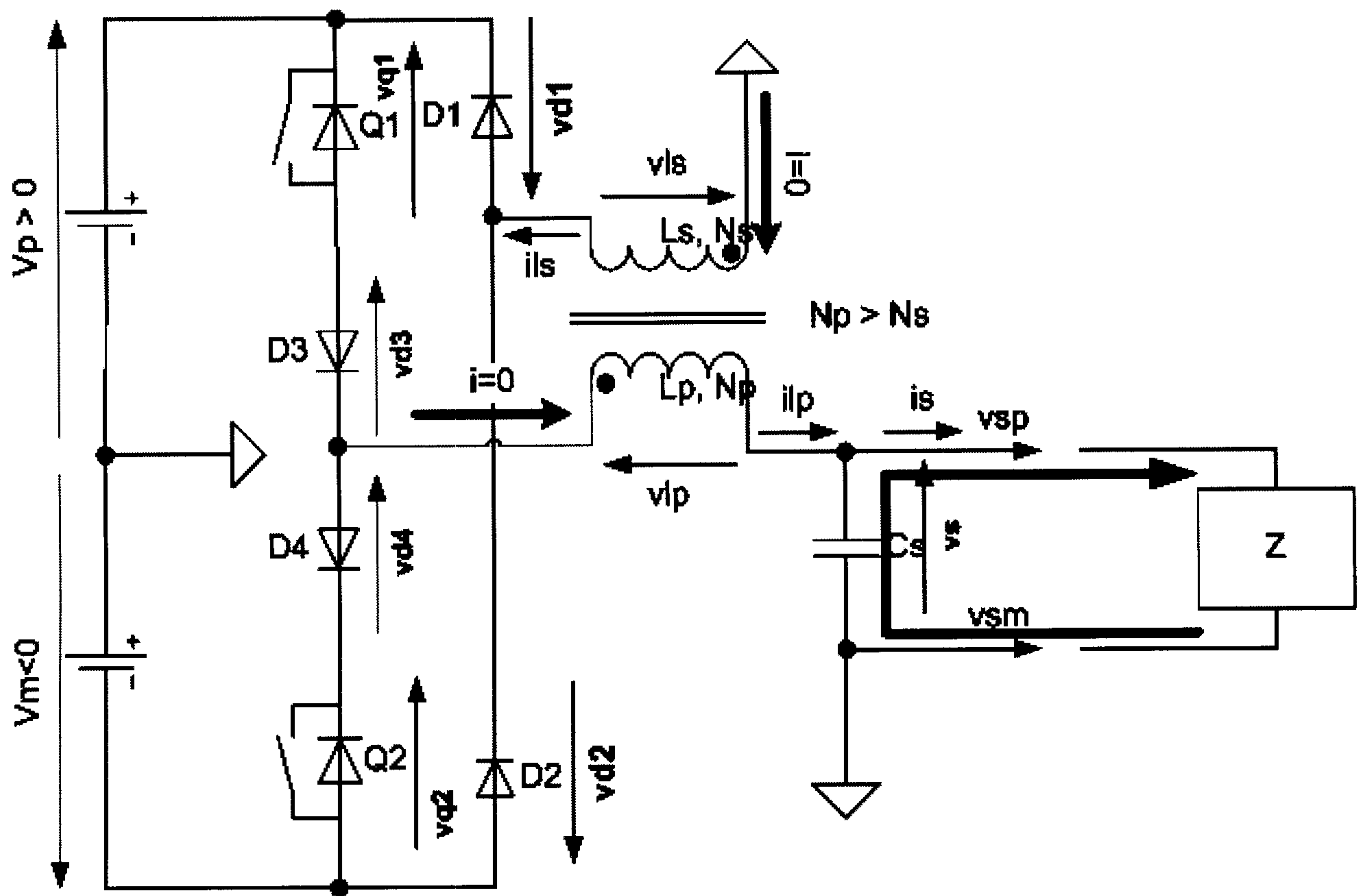


FIG.4F

10 / 25

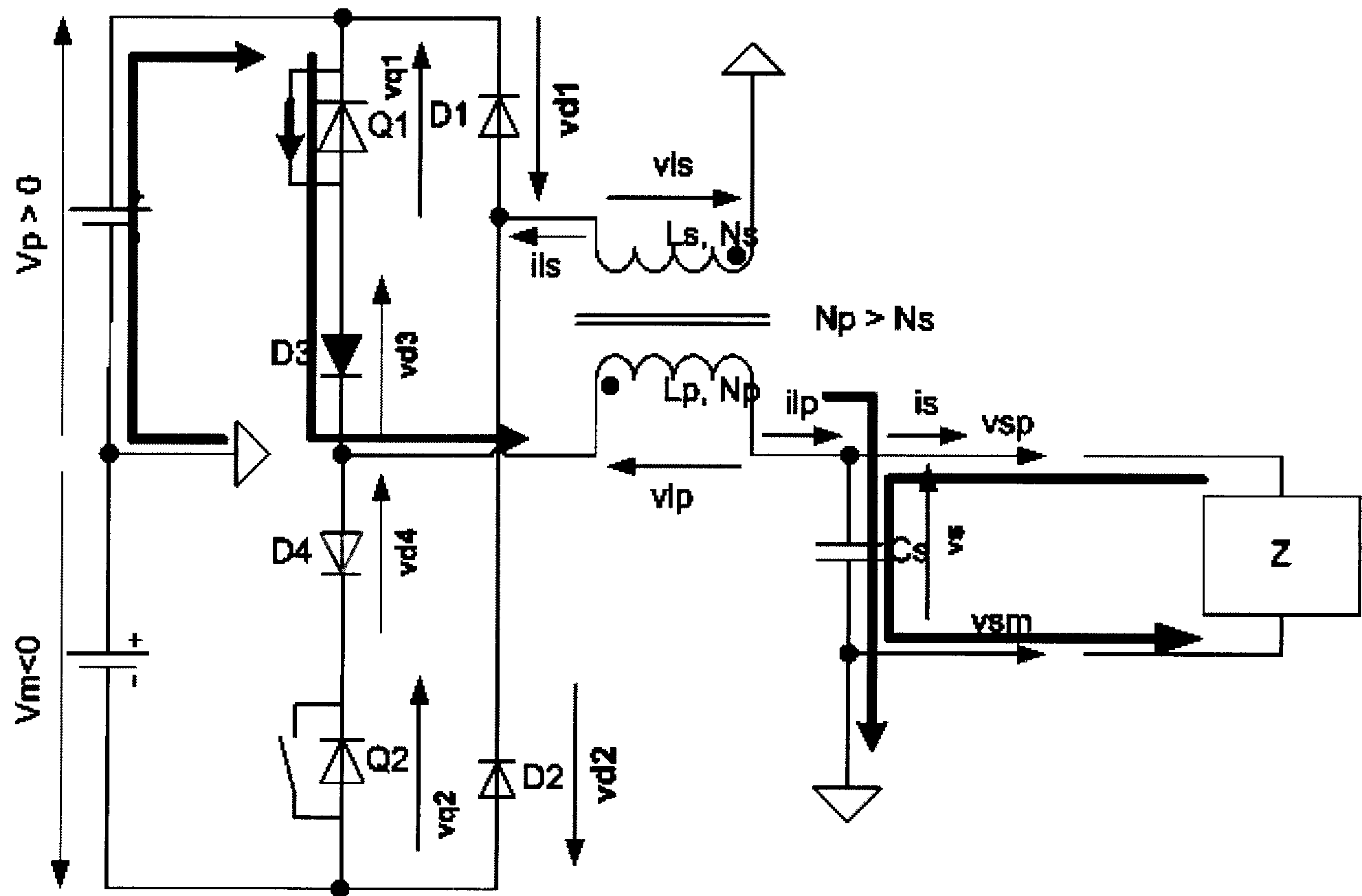


FIG. 4G

11 / 25

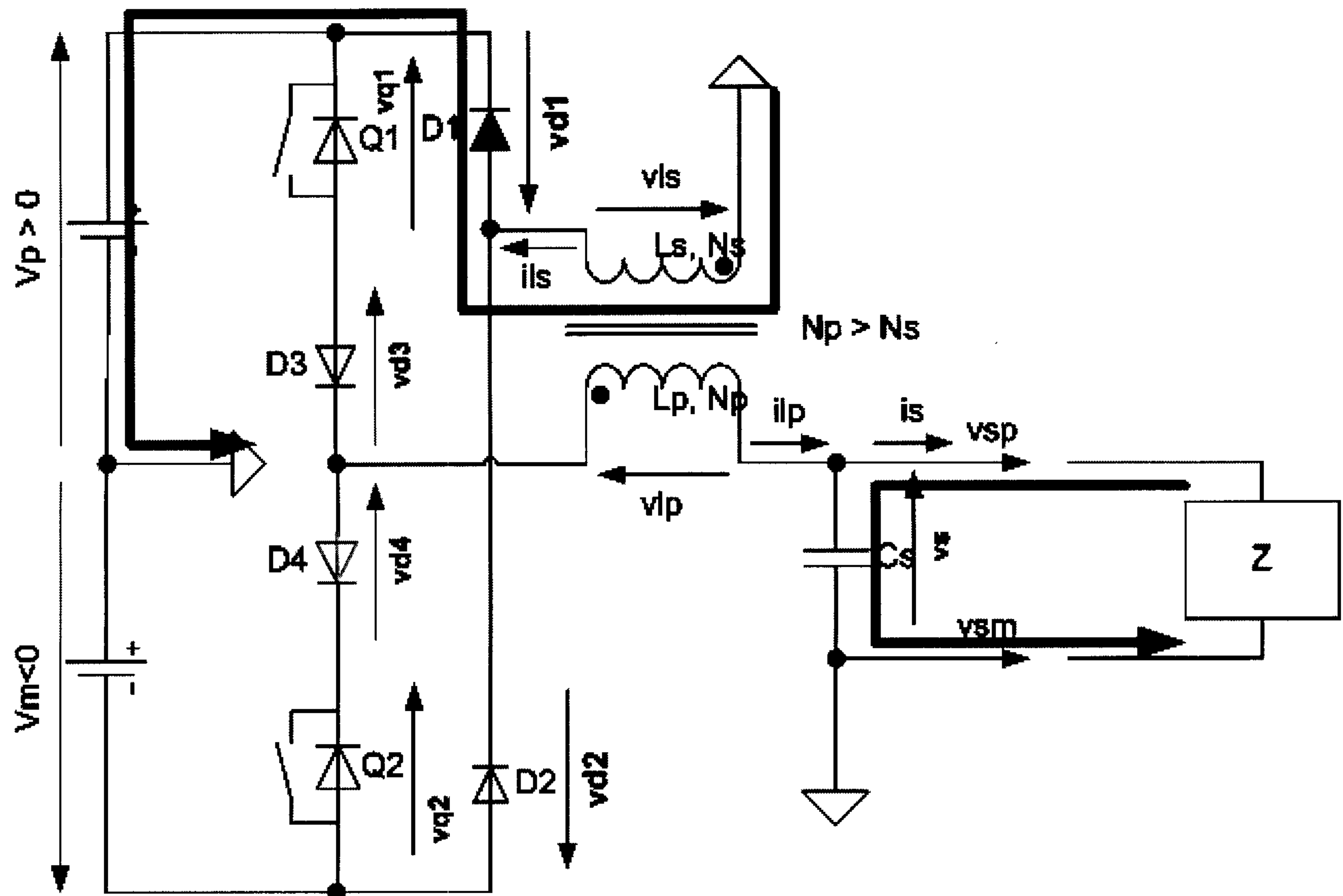


FIG. 4H

12 / 25

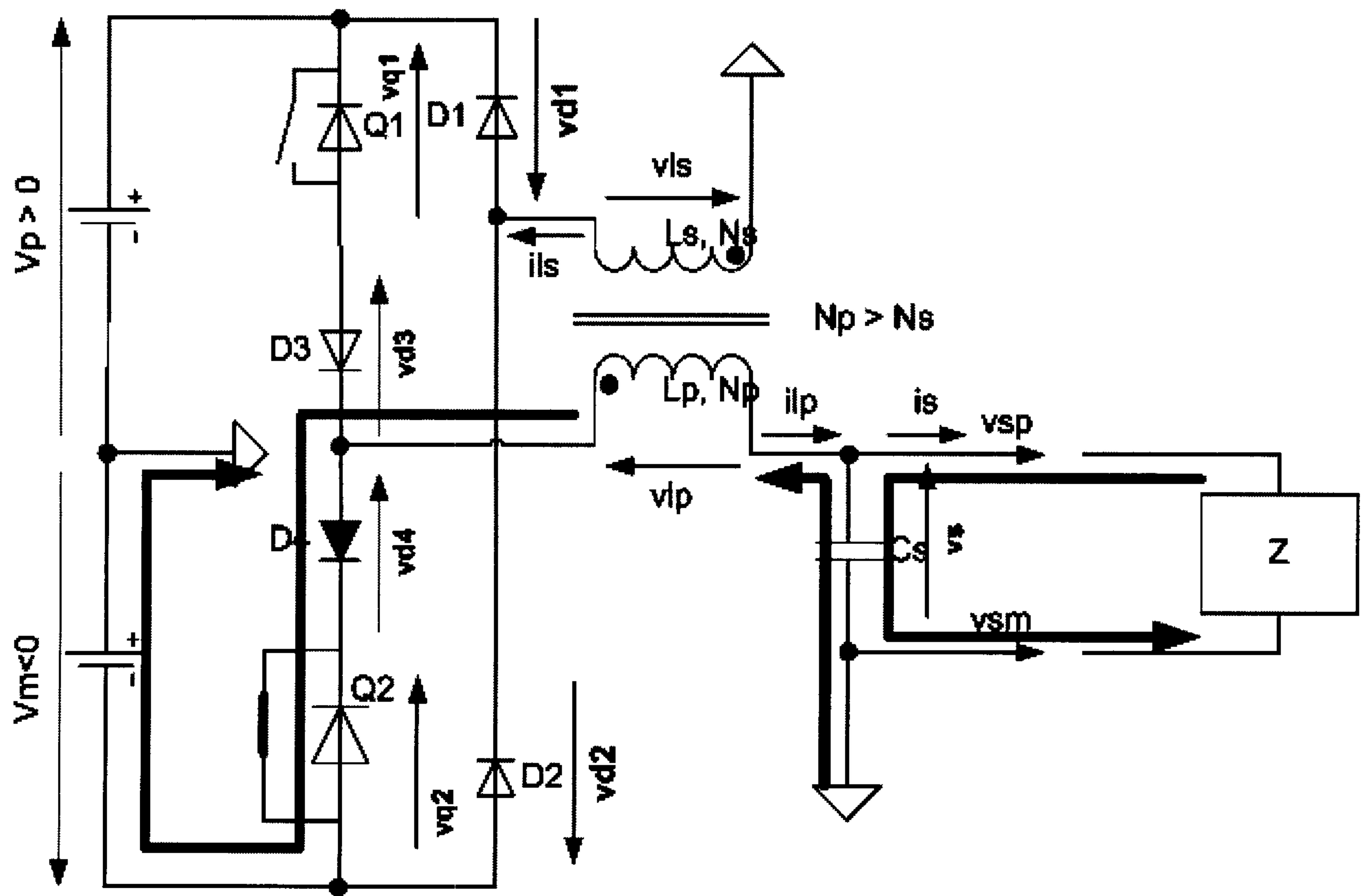


FIG.4I

13 / 25

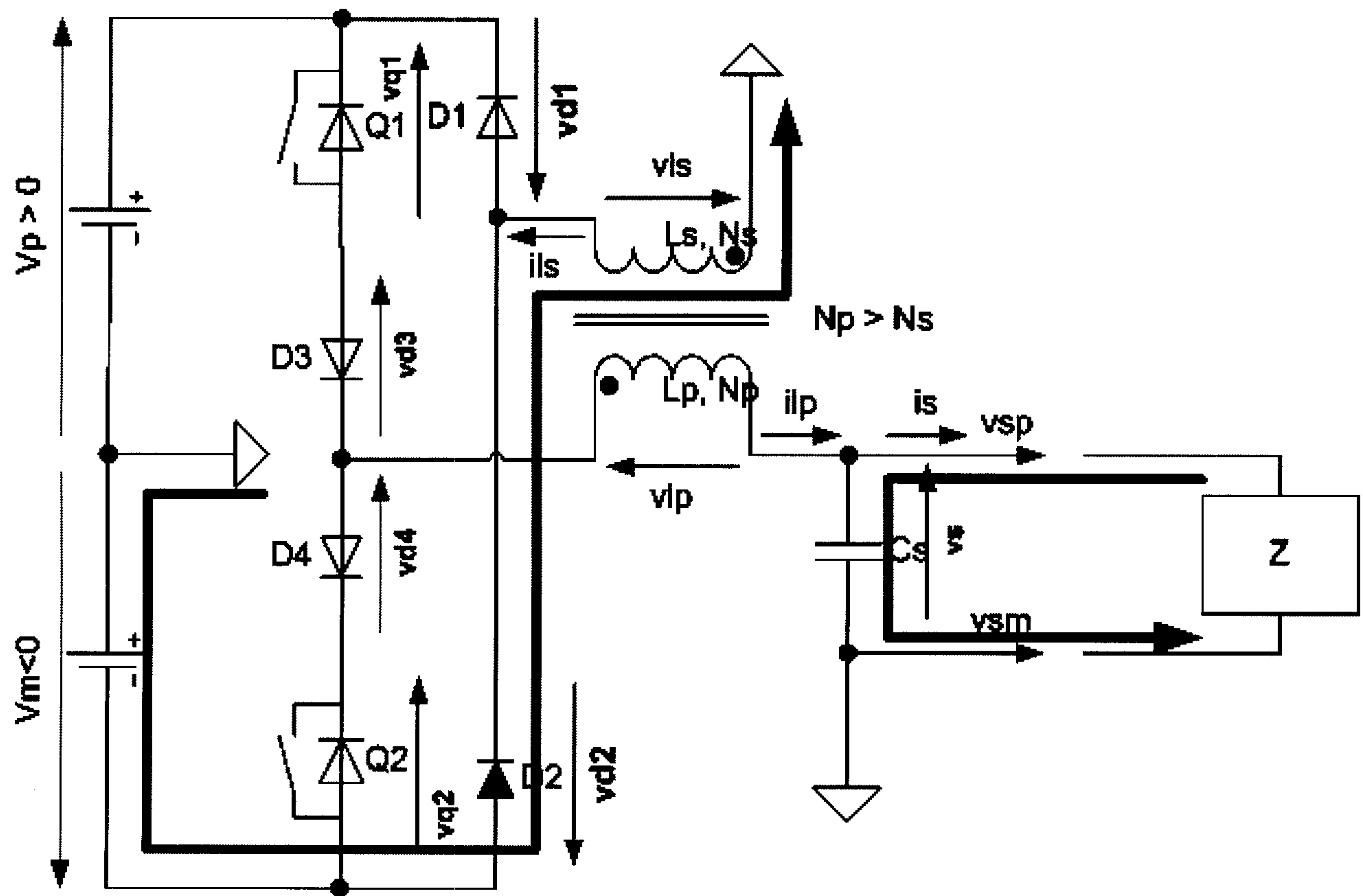


FIG.4J

14 / 25

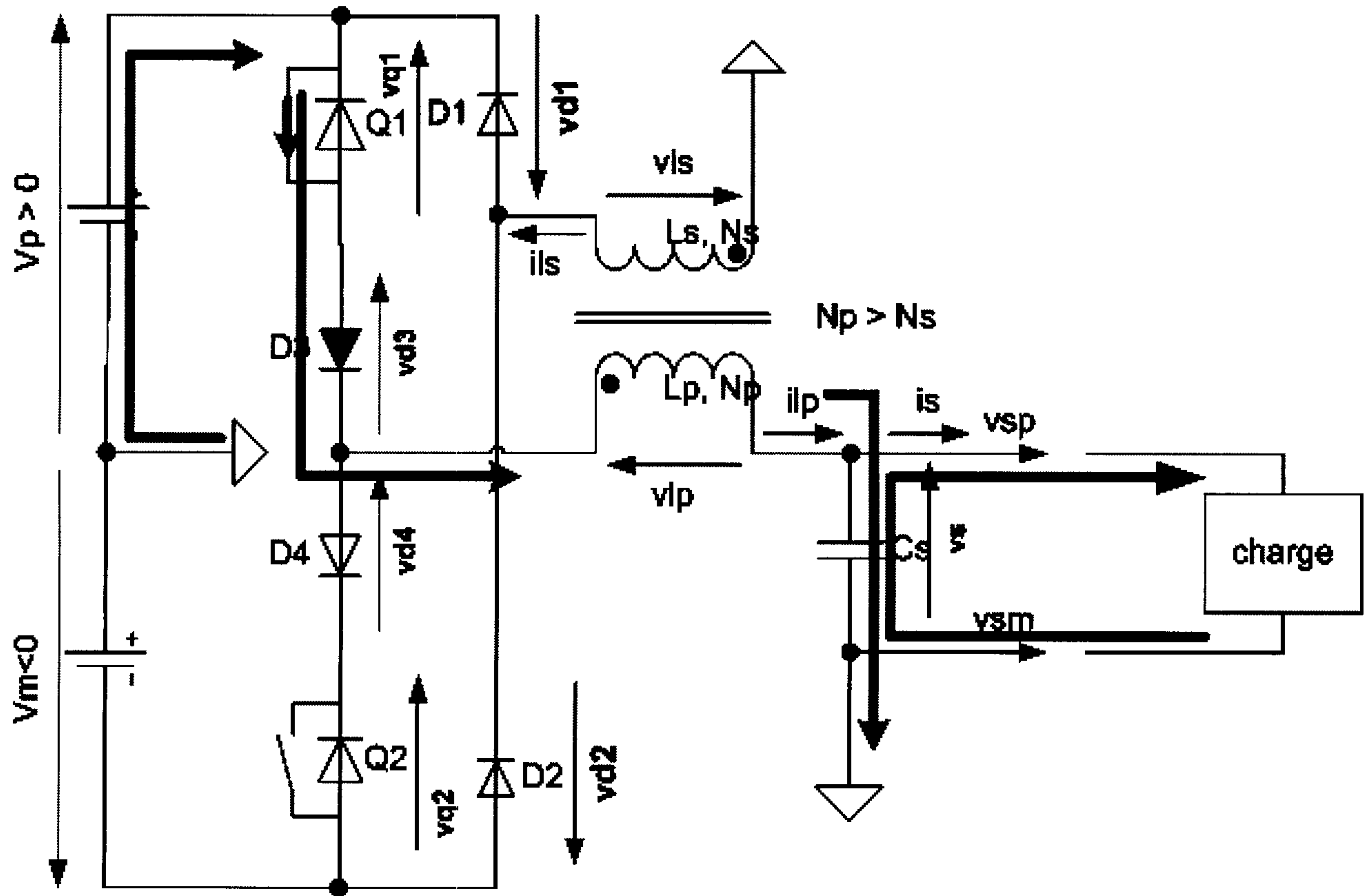


FIG. 4K

15 / 25

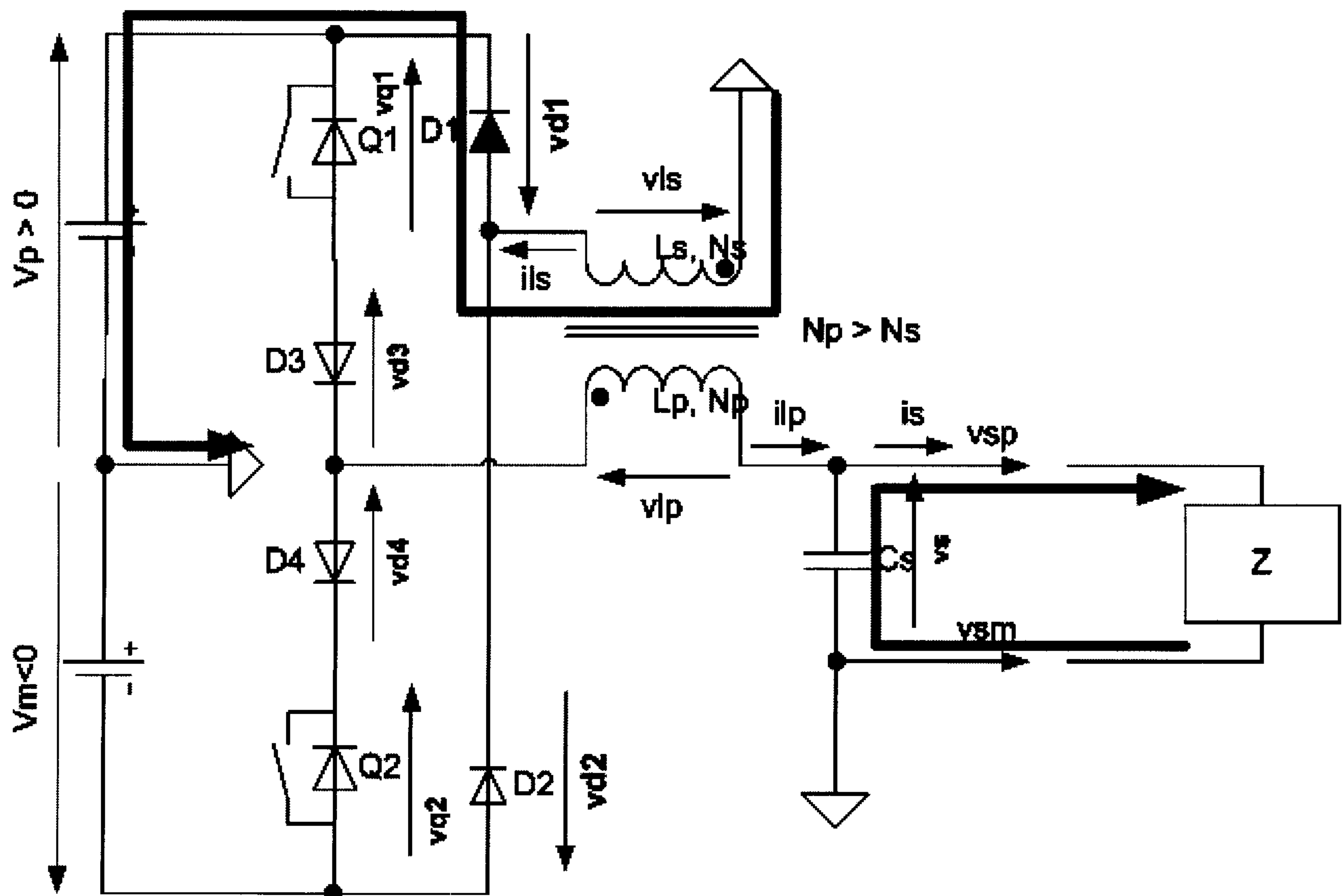


FIG.4L

16 / 25

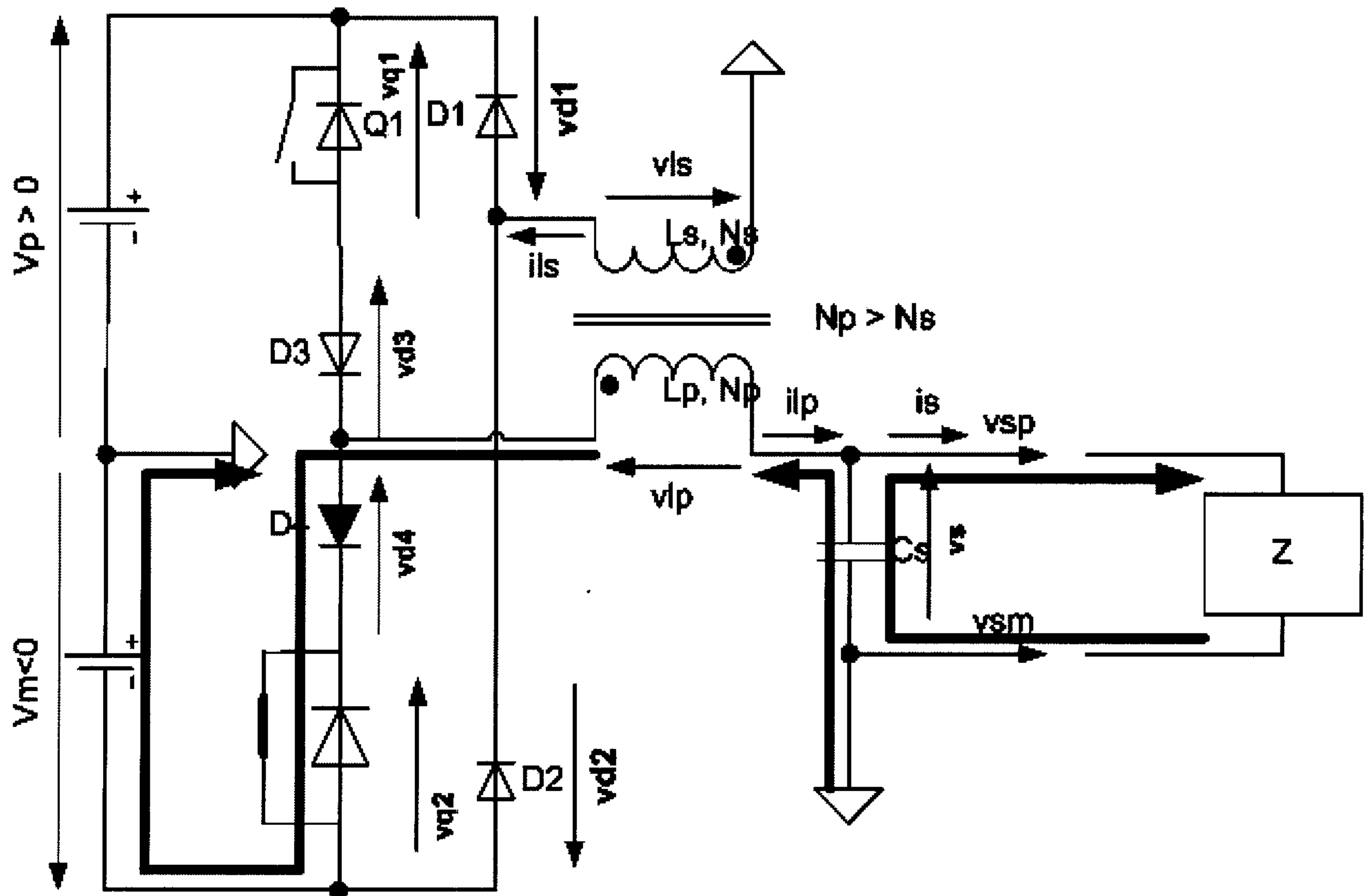


FIG.4M

17 / 25

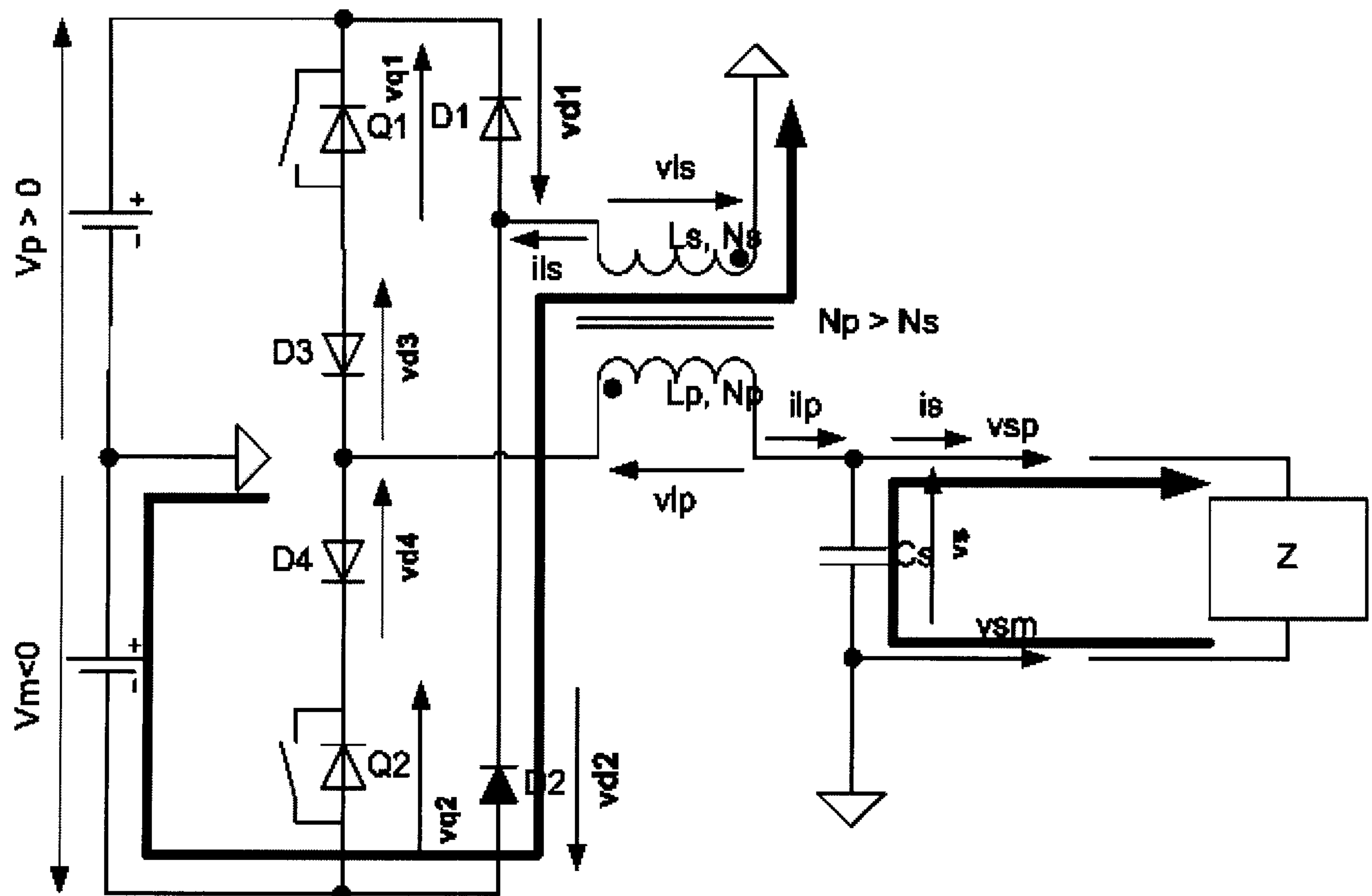


FIG.4N

18 / 25

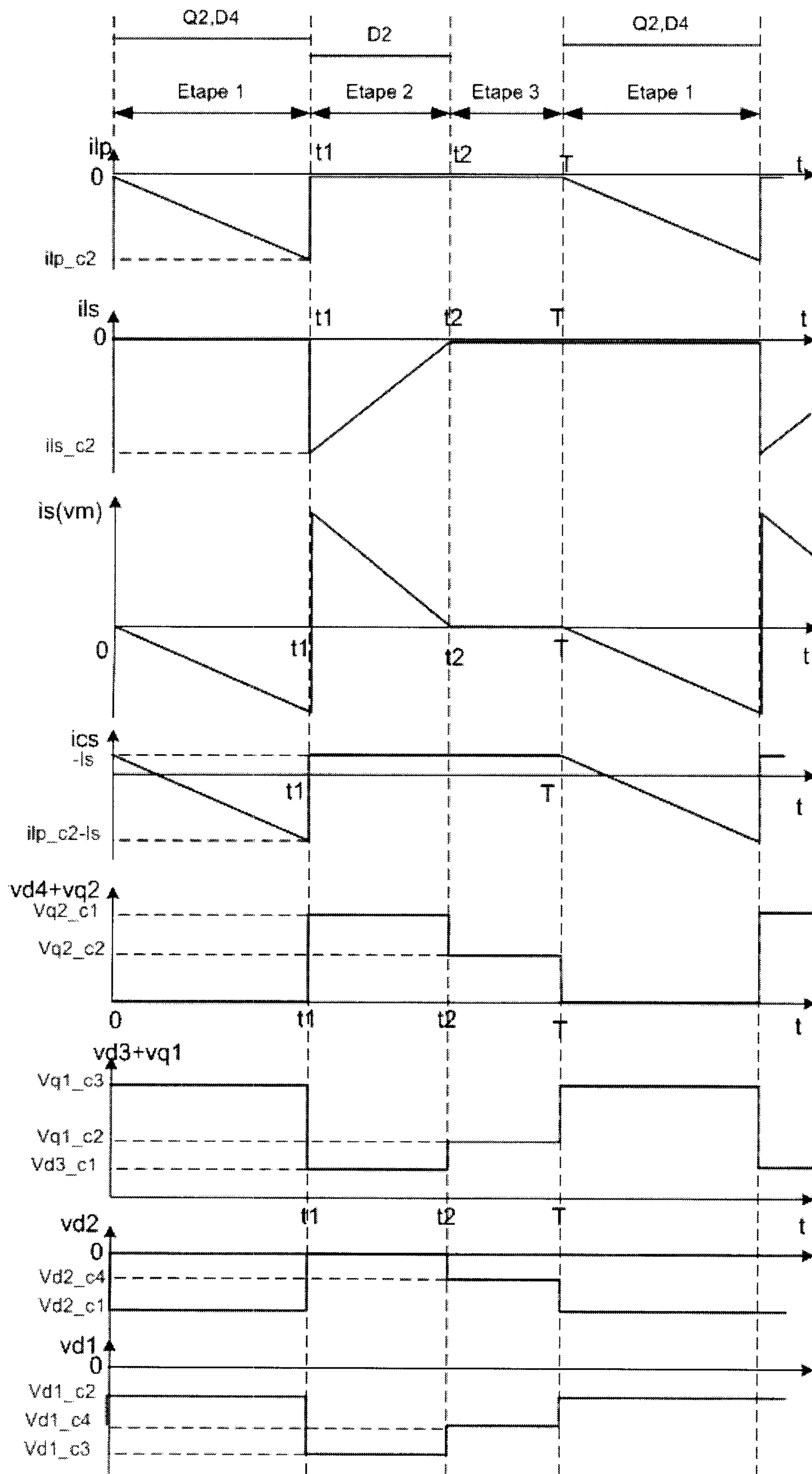


FIG.5A

19 / 25

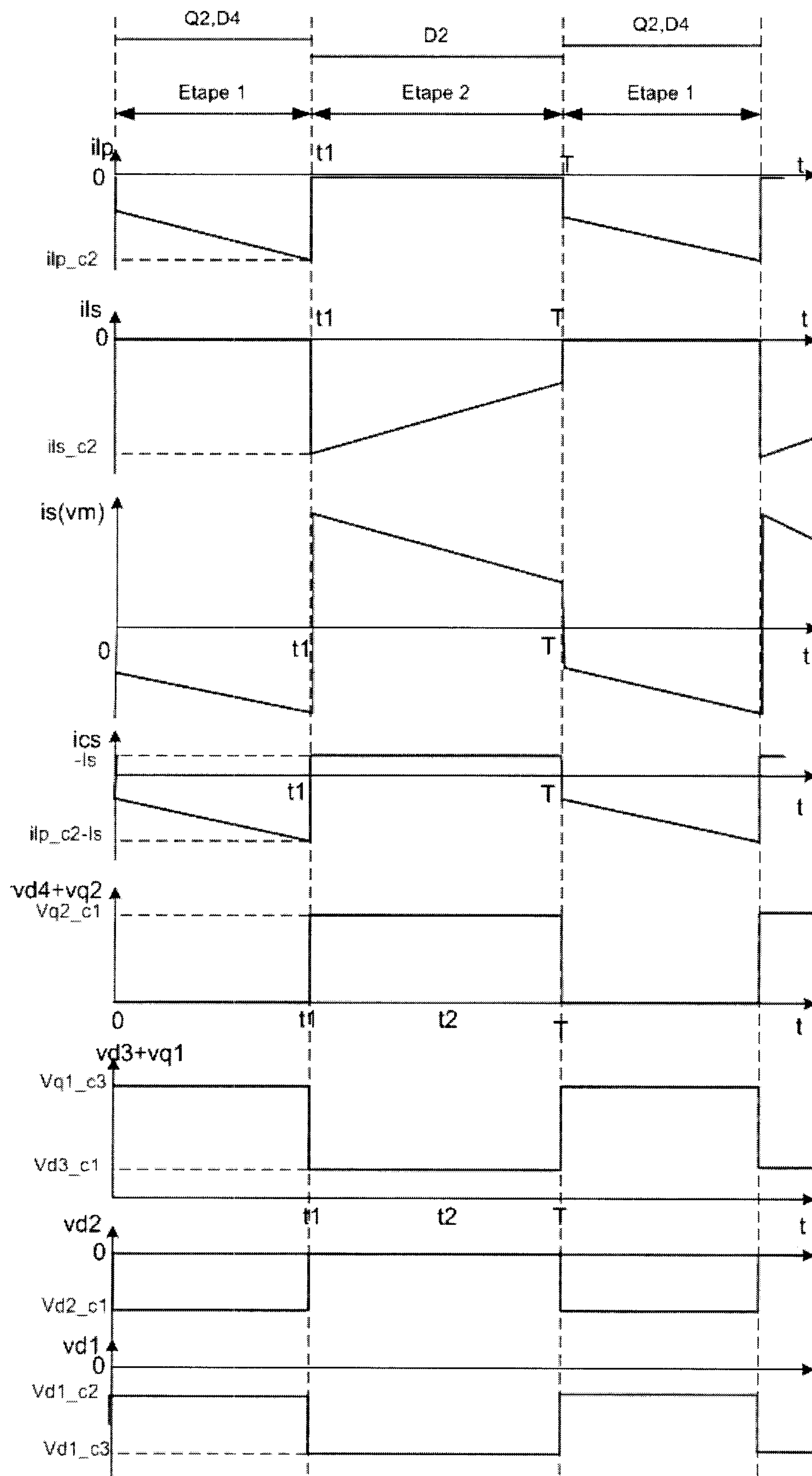


FIG.5B

20 / 25

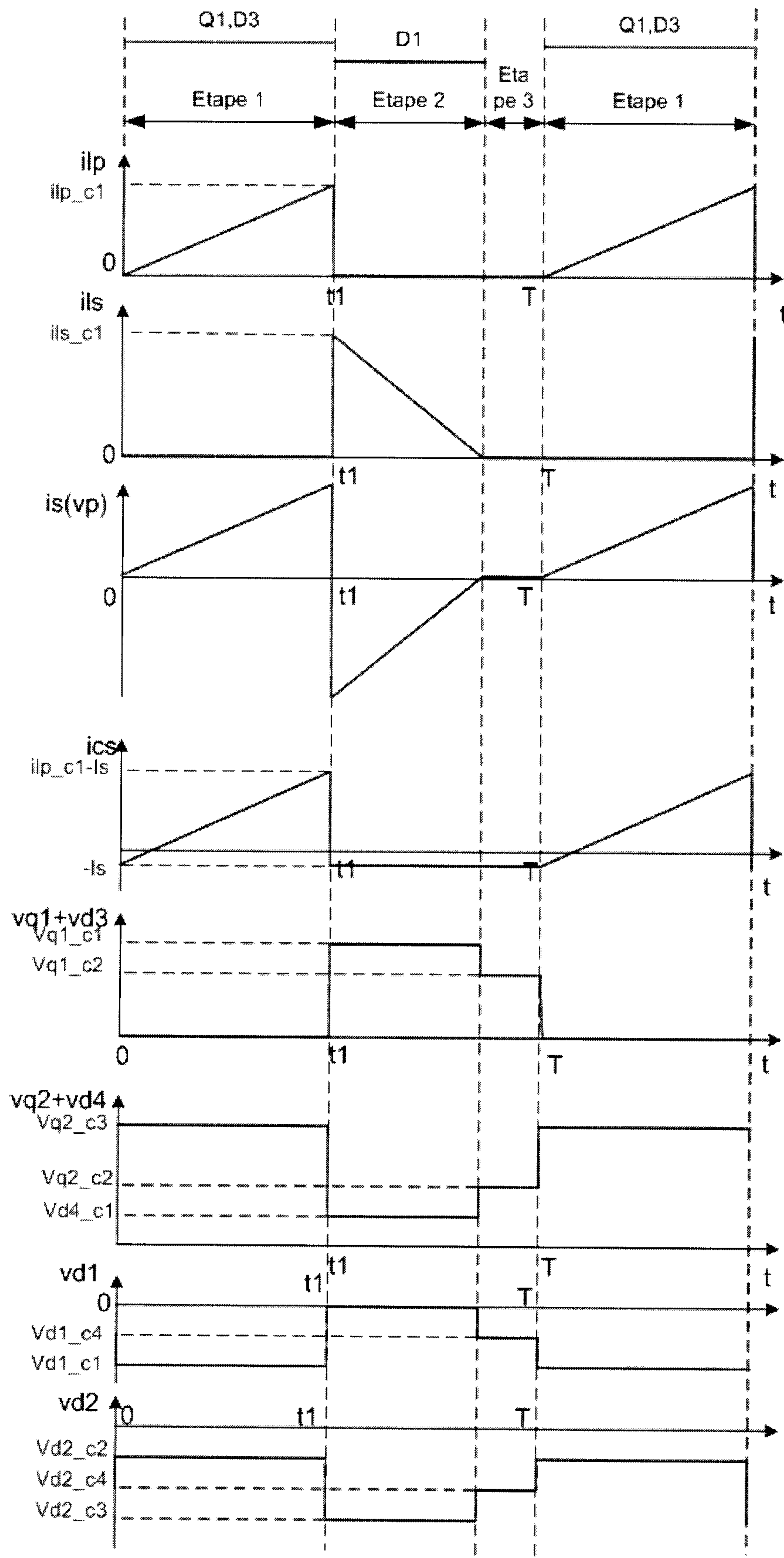


FIG.5C

21 / 25

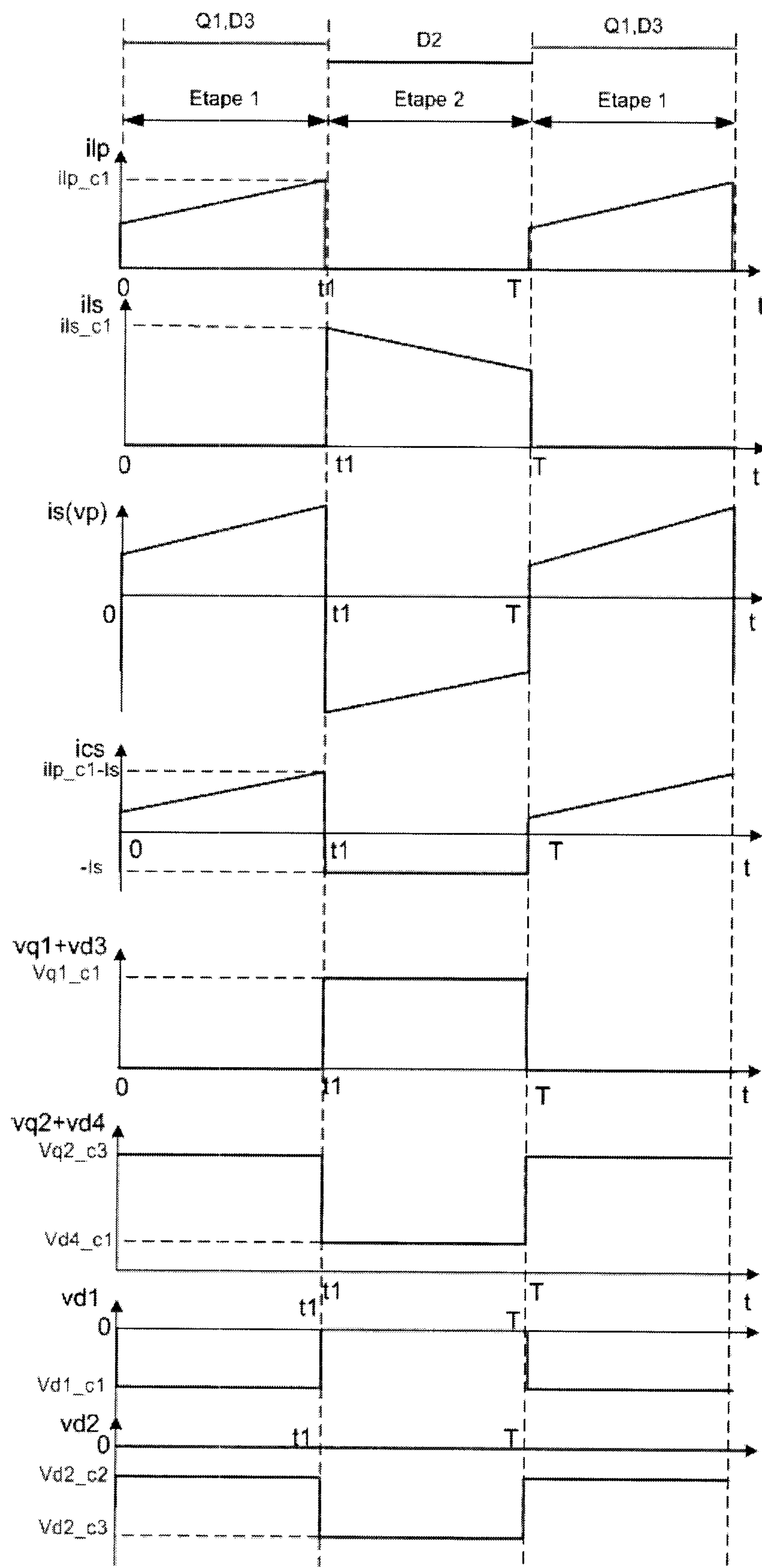


FIG.5D

22 / 25

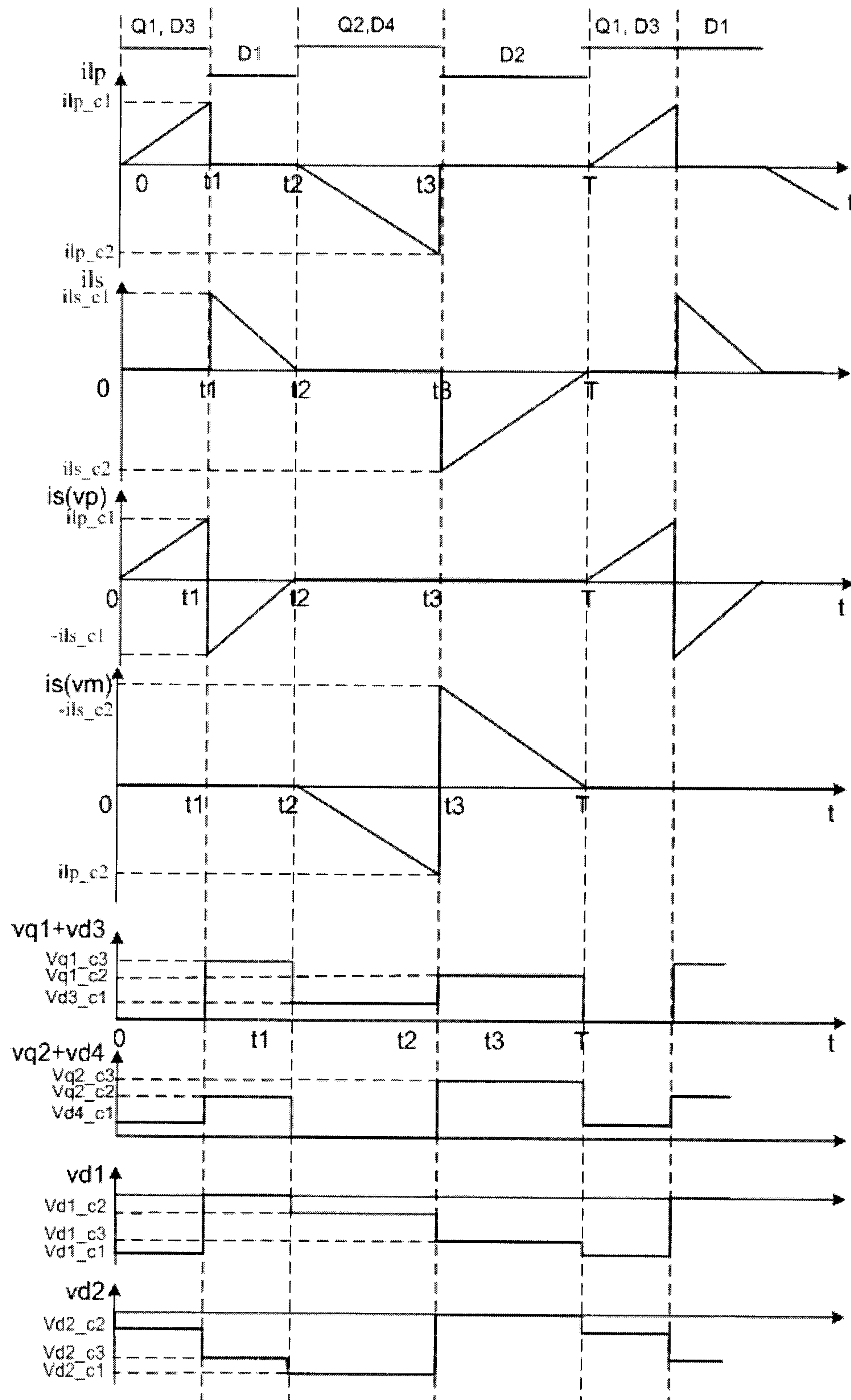


FIG.5E

23 / 25

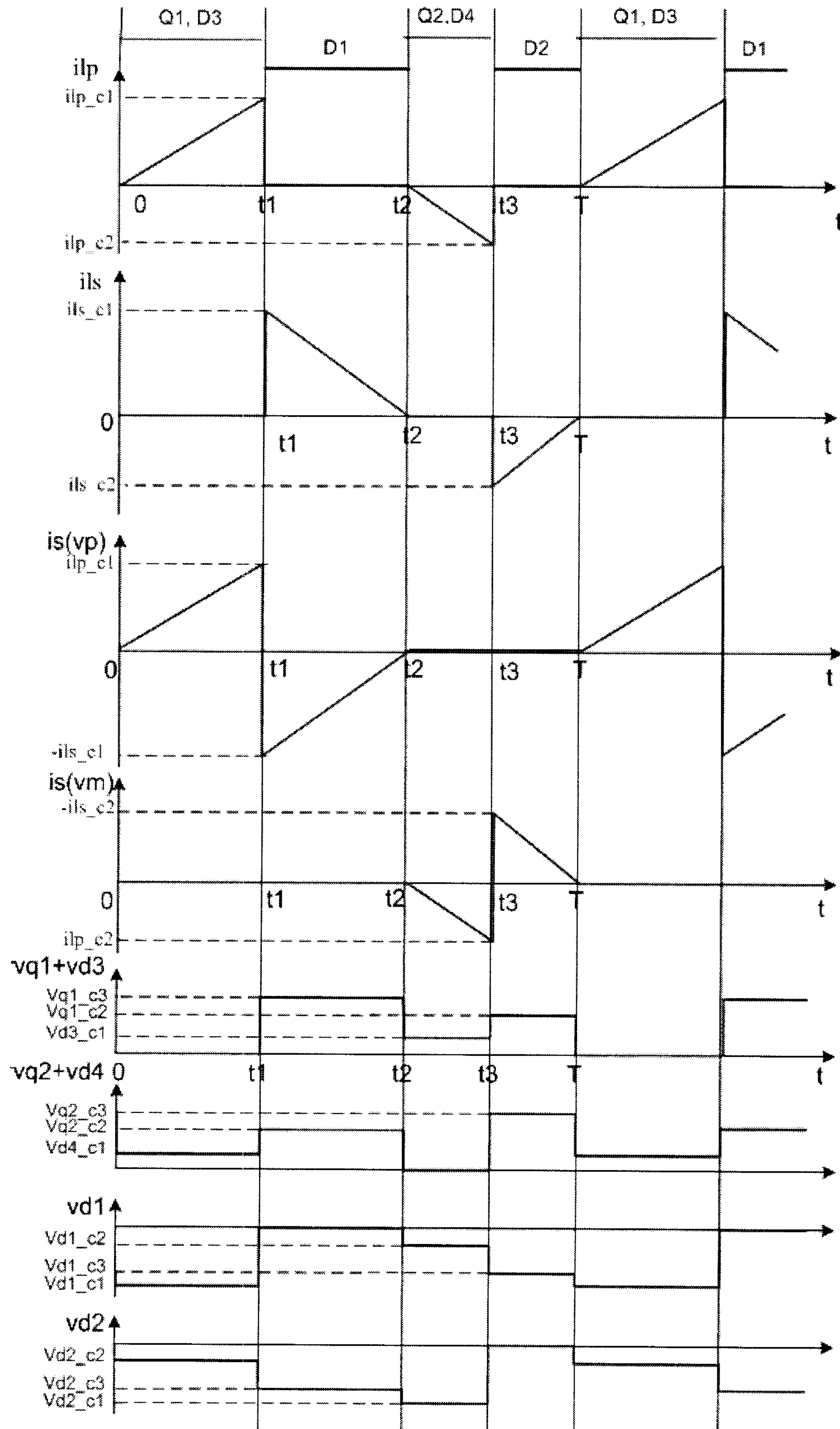


FIG.5F

24 / 25

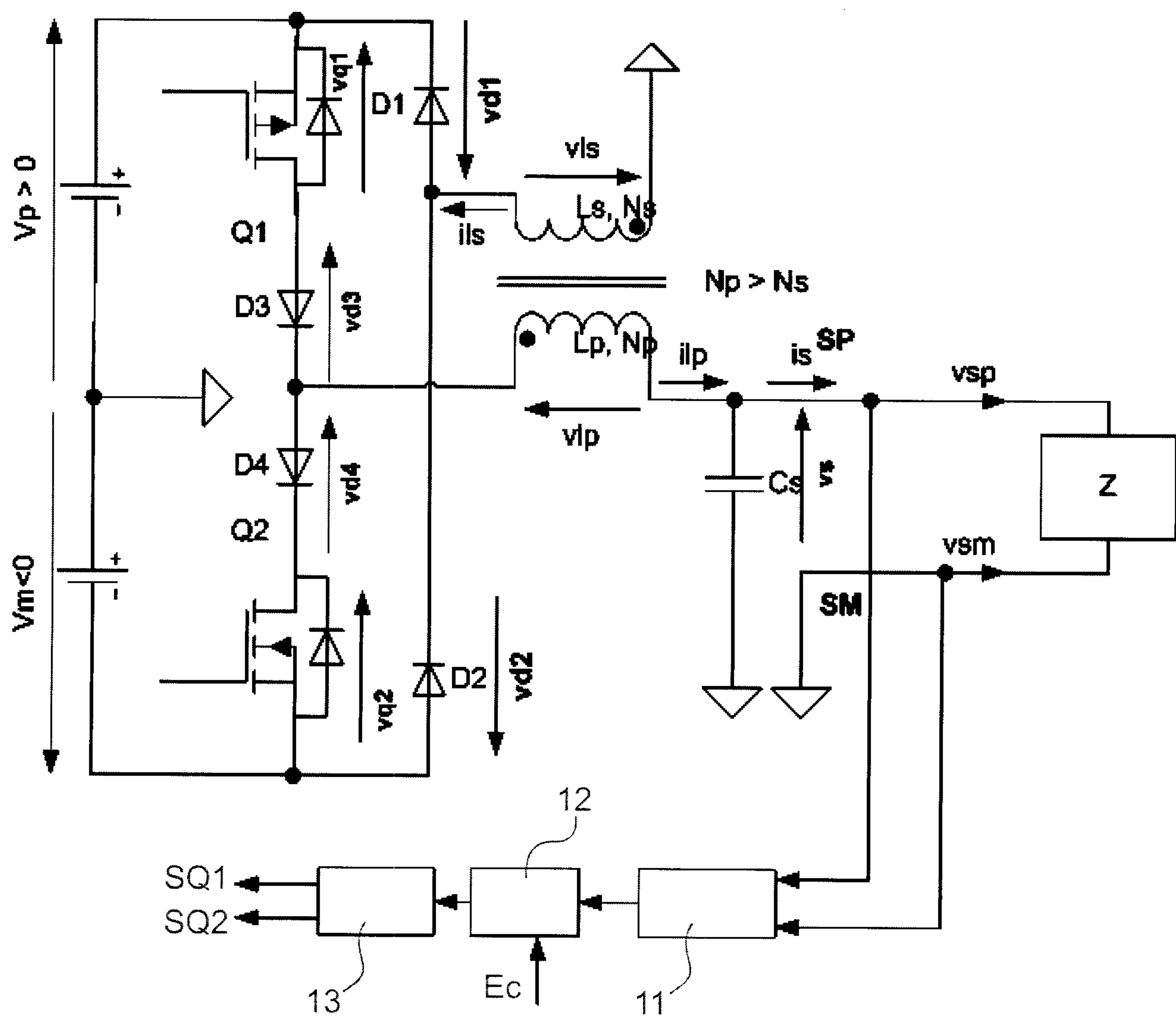


FIG.6A

25 / 25

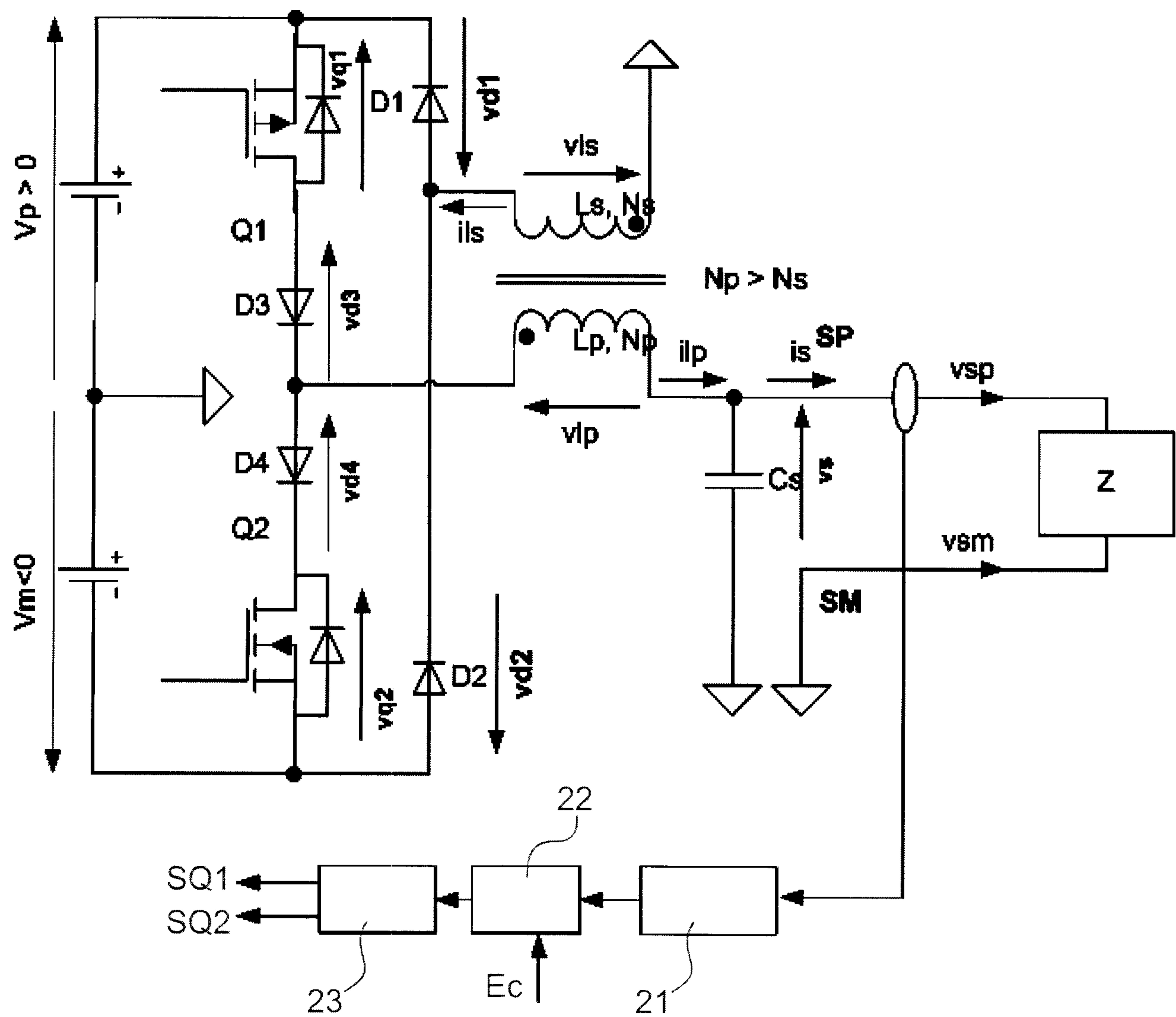


FIG.6B

