



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1997/08/08

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1998/02/09

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2006/06/06

(30) Priorité/Priority: 1996/08/09 (FR96 10 047)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *H02M 3/07* (2006.01),
H02M 7/48 (2006.01)

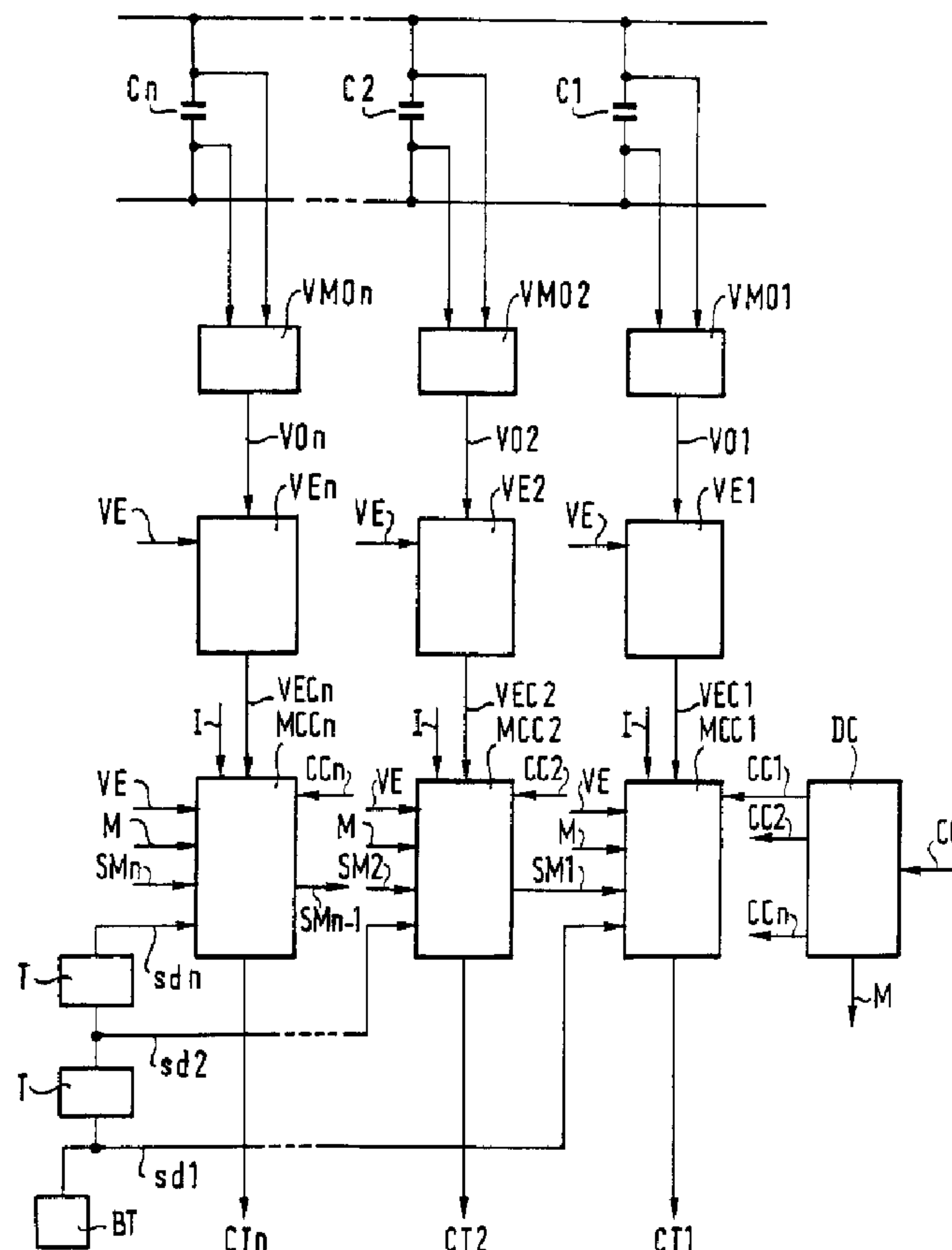
(72) Inventeurs/Inventors:
CARRERE, PHILIPPE, FR;
LAVIEVILLE, JEAN-PAUL, FR;
MEYNARD, THIERRY, FR;
THOMAS, JEAN-LUC, FR

(73) Propriétaire/Owner:
GEC ALSTHOM TRANSPORT SA, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF ELECTRONIQUE DE CONVERSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

(54) Title: ELECTRICAL ENERGY CONVERSION ELECTRONIC DEVICE



(57) Abrégé/Abstract:

Convertisseur multiniveaux comprenant notamment un condensateur (C1, C2..., Cn), pour chacune de ses cellules, ainsi que des moyens de commande comprenant des moyens d'évaluation (VMO1, VMO2..., VMO_n) de la tension moyenne aux bornes de



(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

chacun des condensateurs (C1, C2..., Cn), des moyens (VE1, VE2..., VEn) pour constater, pour chacun desdits condensateurs (C1, C2..., Cn), un écart éventuel entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, ainsi que des moyens de commande complémentaires (MCC1, MCC2..., MCCn) modifiant la position dans le temps des signaux de commande du convertisseur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

ABREGE**Dispositif électronique de conversion de l'énergie électrique**

Convertisseur multiniveaux comprenant notamment un condensateur ($C_1, C_2, \dots, C_n$), pour chacune de ses cellules, ainsi que des moyens de commande comprenant des moyens d'évaluation ($VM_1, VM_2, \dots, VM_n$) de la tension moyenne aux bornes de chacun des condensateurs ($C_1, C_2, \dots, C_n$), des moyens ($VE_1, VE_2, \dots, VE_n$) pour constater, pour chacun desdits condensateurs ($C_1, C_2, \dots, C_n$), un écart éventuel entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, ainsi que des moyens de commande complémentaires ($MCC_1, MCC_2, \dots, MCC_n$) modifiant la position dans le temps des signaux de commande du convertisseur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

Figure à publier : 4

Dispositif électronique de conversion de l'énergie électrique

La présente invention concerne les dispositifs électroniques de conversion de l'énergie électrique du type décrit dans la demande de brevet FR - 2 679 715 A1 et une
5 installation d'alimentation en faisant usage.

Le convertisseur décrit dans cette demande de brevet est illustré, à titre d'exemple, par la figure 1 ci-annexée. Il comprend essentiellement, entre une source de tension SE et une source de courant C, une pluralité de cellules de
10 commutation commandables CL1, CL2..., CLn, chacune ayant deux interrupteurs T1, T'1; T2, T'2...; Tn, T'n, avec un pôle de chacun des deux interrupteurs constituant une paire de pôles amont et l'autre pôle de chacun des interrupteurs constituant une paire de pôles aval, la paire de pôles aval
15 d'une cellule amont étant connectée à la paire de pôles amont d'une cellule aval et la paire de pôles amont d'une première cellule CL1 étant connectée à ladite source de courant C, tandis que la paire de pôles aval d'une dernière cellule CLn est connectée à ladite source de tension SE, ce
20 convertisseur comprenant encore un condensateur C1, C2..., Cn, pour chaque cellule, sauf que celui de la dernière peut être omis quand ladite source de tension SE est apte à en jouer le rôle, connecté entre les deux pôles de la paire de pôles aval de la cellule, ainsi que des moyens de commande
25 (non représentés) régissant le fonctionnement nominal du convertisseur en agissant sur les interrupteurs des cellules successives de sorte que les deux interrupteurs d'une même cellule soient toujours respectivement dans des états de conduction opposés (ce qui est illustré par des liaisons de
30 commande telles que lc1), de sorte que, en réponse à un signal de commande de cellule fourni par lesdits moyens de commande, l'un des deux interrupteurs d'une même cellule soit successivement dans un premier état de conduction, puis dans un second état de conduction durant une période de
35 découpage du convertisseur cycliquement répétée, et de sorte que, en réponse à des signaux de commande de cellules

identiques mais décalés dans le temps d'une fraction de ladite période de découpage du convertisseur, les interrupteurs des cellules successives aient respectivement le même fonctionnement, mais décalé dans le temps de ladite fraction de période.

De préférence, ladite fraction de période est égale à l'inverse du nombre n de cellules, soit $2\pi/n$, ce qui est optimal en ce qui concerne les harmoniques engendrées sur la sortie et permet un équilibrage naturel des tensions de charge des condensateurs du convertisseur. Un autre décalage est cependant concevable, de même que des décalages différents entre les divers étages.

Dans un tel convertisseur, les condensateurs successifs $C_1, C_2, \dots, C_n$ ont des tensions de charge moyennes respectivement croissantes, la tension de charge moyenne du condensateur associé à chacune desdites cellules étant égale au produit d'une tension VE issue de ladite source de tension SE , de l'inverse du nombre de cellules du convertisseur et du rang de la cellule, soit $VE/3, 2VE/3, VE$, lorsque $n = 3$, c'est-à-dire lorsque le convertisseur a trois cellules seulement.

Bien entendu, ce qui précède s'applique pour d'autres valeurs de n , du moment qu'il y en a deux au moins, pour plus de trois cellules en particulier.

Dans ce qui suit on dénommera convertisseur multiniveaux un convertisseur répondant à la description qui précède.

Un des objets de la présente invention est de faire en sorte que, dans un tel convertisseur multiniveaux, la charge de chaque condensateur reste conforme à ce qui vient d'être indiqué, malgré les inévitables déviations par rapport aux conditions nominales de fonctionnement.

Pour examiner plus facilement comment doit nominalement évoluer la charge d'un des condensateurs d'un convertisseur multiniveaux conforme à ce qui précède, on se référera à la figure 2 qui représente une cellule de

commutation quelconque CL_k , avec ses interrupteurs T_k , T'_k , le condensateur C_k associé à cette cellule, ainsi que la cellule suivante CL_{k+1} , avec ses interrupteurs T_{k+1} , T'_{k+1} .

Compte tenu du couplage entre les interrupteurs de chaque cellule, T_k , T'_k ; T_{k+1} , T'_{k+1} , l'ensemble de deux cellules imbriquées T_k - T_{k+1} représenté à la figure 2 possède quatre états :

a) un premier état où, T_k et T_{k+1} étant bloqués, la tension de charge de C_k n'évolue pas ;

10 b) un deuxième état où, T_k et T_{k+1} étant conducteurs, la tension de charge de C_k n'évolue pas non plus, parce qu'alors T'_k et T'_{k+1} sont bloqués ;

c) un troisième état où, T_k étant conducteur et T_{k+1} bloqué, la source de courant C impose un courant I_k égal à I à travers T_k , alors que le courant I'_k vers T'_k est nul. L'état de T_{k+1} impose un courant I_{k+1} nul, alors que le courant I'_{k+1} est égal à I , tandis que le courant I'_{ck} dans le condensateur C_k est égal à I ;

d) un quatrième état où, T_k étant bloqué et T_{k+1} conducteur, la source de courant C impose un courant I'_k égal à I à travers T'_k , alors que le courant I_k à travers T_k est nul. L'état de T_{k+1} impose un courant I_{k+1} égal à I , alors que le courant I'_{k+1} est nul, tandis que le courant I_{ck} dans le condensateur C_k est égal à I .

25 Les courants $I'_{ck} = I'_{k+1}$ et $I_{ck} = I_{k+1}$ apportent au condensateur C_k des charges additionnelles opposées, dans les troisième et quatrième états ci-dessus ; on dira que les premières sont négatives et les secondes positives. Les courants correspondant à ces deux états sont imposés par la source de courant. Si la source de courant est rigoureusement continue, toutes choses égales par ailleurs, les courants imposés par la source de courant dans les phases c) et d) sont les mêmes et de sens opposés, à tout instant, au long des intervalles de conduction de T_k et T_{k+1} (nominalement égaux et décalés dans le temps, comme indiqué plus haut). Cela entraîne que la charge de C_k , modifiée

négativement puis positivement de quantités égales, ne varie pas au cours d'une période de découpage du convertisseur.

Dans un système idéal (source de courant parfaite, impédance infinie), les courants I_{ck} et I'_{ck} sont déterminés par la source de courant. De manière plus concrète, lorsque l'impédance de la source de courant n'est pas infinie, le courant de la source de courant dépend de la tension à ses bornes et donc des tensions V_{ck} des condensateurs. S'il advient que la tension de charge V_{ck} soit, par exemple, trop élevée, par rapport à sa valeur nominale $V_{E.k/n}$, quelle qu'en soit la raison, il en résultera un courant de décharge I'_{ck} tendant à être plus fort et un courant de charge I_{ck} tendant à être plus faible que ce qu'ils seraient nominalement, ce qui tendra à ramener la charge du condensateur C_k à ce qu'elle devrait être. Ceci explique que le fonctionnement du convertisseur multiniveaux soit stable et permette des variations d'amplitude, dans les deux sens, tant du côté de la source de tension que du côté de la source de courant. On verra par la suite que cela soulève néanmoins des problèmes en termes de dynamique.

La figure 3 donne un exemple de fonctionnement du convertisseur multiniveaux conforme aux figures 1 et 2, dans le cas où $n = 3$; on y applique une commande du type de la modulation PWM, en vue de la fourniture à la source de courant C d'une tension alternative modulée sinusoïdalement, c'est-à-dire que, durant des périodes successives $p_1, p_2, p_3...$ de fonctionnement du convertisseur (ligne t), les interrupteurs T_1, T_2, T_3 sont successivement conducteurs pendant des intervalles de durée variant selon une onde de modulation de la tension de sortie, dite ci-après modulante. Les interrupteurs correspondants T'_1, T'_2, T'_3 sont à chaque instant dans la position opposée.

Bien entendu d'autres modes de modulation du fonctionnement des interrupteurs permettent, comme il est bien connu, d'obtenir le même résultat. Bien entendu encore, le convertisseur peut tout aussi bien servir à fournir à la

source de courant C toute autre forme d'onde ou une tension continue régulée.

On considérera d'abord une période p_1 de fonctionnement du convertisseur. Au cours de celle-ci, lorsque l'un des interrupteurs T_1 , T_2 , T_3 est conducteur, les deux autres sont bloqués ; pour chaque ensemble de deux cellules et le condensateur compris entre elles, cela correspond aux états c) et d) décrits plus haut, dans lesquels le condensateur reçoit successivement des charges additionnelles négatives et des charges additionnelles positives, dont la valeur totale est nominale-ment nulle. On remarquera de plus que, lorsque les cellules imbriquées CL_1 - CL_2 sont dans l'état d), les cellules imbriquées CL_2 - CL_3 sont dans l'état c), de sorte que le condensateur C_1 reçoit des charges additionnelles positives par le même courant qui fournit des charges additionnelles négatives au condensateur C_2 .

La figure 3 illustre additionnellement et à titre d'exemple le fonctionnement du convertisseur multiniveaux dans des périodes p_2 , p_3 , etc..., au cours desquelles les durées de conduction des interrupteurs T_1 , T_2 , T_3 se raccourcissent, puis s'allongent jusqu'à dépasser $1/3$ de période, se recouvrant alors. La ligne VI représente ce que serait idéalement la tension transmise à la source de courant, notamment si les condensateurs avaient une capacité telle que les charges additionnelles considérées ne modifiaient sensiblement pas la tension à leurs bornes. La tension VI est exprimée en fractions de la tension VE de la source de tension SE, en prenant comme référence de tension le pôle négatif de la source de tension SE. On voit que cette tension VI contient, d'une part, un fondamental important à la fréquence de la modulante et, d'autre part, des harmoniques d'amplitudes plus faibles à des fréquences supérieures à la fréquence de découpage, ou fréquence de fonctionnement du convertisseur, qui peuvent être facilement éliminées par un filtre passe-bas. Ce courant étant

variable, son intégration par un élément inductif quelconque contenu dans la source de courant mène à ce que le convertisseur fournisse à la source de courant un courant alternatif d'allure sinusoïdale dont la période est égale à
5 celle du fondamental de la tension de sortie.

Le courant variant sinusoïdalement, les états c) et d) envisagés plus haut n'apporteront pas des charges additionnelles égales aux condensateurs du convertisseur, puisqu'entre ces deux états, le courant aura eu le temps de
10 varier. Cette variation ne sera négligeable que si la période de fonctionnement des interrupteurs est nettement supérieure à la fréquence de la modulante.

Par ailleurs, il faut s'attendre à ce que le courant alternatif fourni à la source de courant ne soit pas
15 strictement sinusoïdal, mais distordu de façon asymétrique. De même, des écarts de niveaux dans les signaux de commande ou dans les signaux les engendrant, ou encore les différences de temps de commutation entre les divers interrupteurs traversés, rendront inévitablement inégales
20 les durées de conduction des interrupteurs sur une période de fonctionnement du convertisseur, ou décaleront dans le temps les phases de conduction des interrupteurs, ou encore déséquilibreront les courants de charge et de décharge des condensateurs. D'une manière générale, par conséquent, on ne
25 peut garantir en pratique, dans un convertisseur multiniveaux du type décrit, le respect des conditions nominales de fonctionnement, telles qu'elles ont été initialement décrites. Or, un écart de charge additionnelle persistant conduit à un écart dans un sens ou dans l'autre
30 de la charge d'un condensateur, donc de sa tension de charge moyenne, donc aussi à une distorsion, à la fréquence de fonctionnement du convertisseur, de la tension fournie à la source de courant.

Cet effet est illustré par le tracé VI' de la figure
35 3, qui est semblable au tracé VI, à cela près que, le condensateur C1 (figure 1) étant supposé chargé sous une

tension plus faible que sa tension de charge nominale, au lieu de fournir des impulsions v_{i1} , v_{i2} , v_{i3} d'amplitude constante, le convertisseur fournit des impulsions, telles que v_{i1}' , d'amplitude réduite (l'échelle est exagérée pour une meilleure lisibilité), lorsque le condensateur C_1 fournit à la source de courant C sa propre tension de charge, et des impulsions, telles que v_{i2}' , d'amplitude accrue, lorsque le condensateur C_1 soustrait sa propre tension de celle qui est fournie à la source de courant C , ainsi que des impulsions, telles que v_{i3}' , d'amplitude inchangée, lorsque le condensateur C_1 est hors circuit. On voit aisément que, dans le signal VI' , cela apporte une composante perturbatrice à ladite fréquence de découpage du convertisseur.

Une telle composante perturbatrice n'existe pas quand les condensateurs sont chargés à leurs tensions nominales respectives. Lorsqu'elle apparaît, elle est généralement nuisible.

Mais, surtout, les tensions auxquelles sont soumis les interrupteurs ne seront alors plus sensiblement égales à la différence des tensions de charge nominales de deux condensateurs adjacents, c'est-à-dire à la valeur de la tension de la source de tension divisée par le nombre d'étages du convertisseur. Cela peut mettre en danger ces interrupteurs.

Bien entendu, comme mentionné précédemment, les écarts de charge des condensateurs tendent spontanément à se résorber, mais ce processus prend du temps.

Ce processus spontané est mis en oeuvre via la source de courant. Il est donc ralenti lorsque le courant de la source de courant est réduit.

La présente invention, à partir de ces constatations, propose un convertisseur multiniveaux dans lequel est mieux assuré le maintien de la charge moyenne de chacun des condensateurs du convertisseur à sa valeur nominale.

En reprenant maintenant la définition du convertisseur multiniveau donnée au début de ce texte, il convient de souligner que le fonctionnement nominal du convertisseur prévoit que ses différents étages accomplissent chacun un même cycle de fonctionnement, dans une période de découpage du convertisseur ou période de découpage, mais avec un décalage dans le temps d'une fraction de cette période, de préférence égale à $2\pi/n$, 2π représentant la période de découpage du convertisseur et n étant le nombre d'étages. En se tournant ensuite vers la figure 3, on voit que, au cours d'une période de découpage du convertisseur ($p_1, p_2, p_3...$), les étages du convertisseur produisent des échelons de tension égaux (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}) dont la sommation fournit une valeur constante. En d'autres termes, le signal de sortie est échantillonné sur la base de la période de découpage du convertisseur, divisée par le nombre d'étages.

Dans le cas où les interrupteurs utilisés sont réalisés à l'aide de composants de grande puissance relativement lents, tels que des GTO, la période de découpage du convertisseur est relativement longue et introduit une constante de temps relativement longue dans la réponse à toute commande soudaine de changement de marche du convertisseur. La présente invention permet également dans ce cas de réduire une telle constante de temps.

Selon l'invention, on fournit un convertisseur multiniveaux comprenant notamment, entre une source de tension (SE) et une source de courant (C), une succession de cellules de commutation commandables ($CL_1, CL_2..., CL_n$), chacune ayant deux interrupteurs ($T_1, T'_1; T_2, T'_2...; T_n, T'_n$), avec un pôle de chacun des deux interrupteurs constituant une paire de pôles amont et l'autre pôle de chacun des interrupteurs constituant une paire de pôles aval, la paire de pôles aval d'une cellule amont étant connectée à la paire de pôles amont d'une cellule aval et

8a

la paire de pôles amont d'une première cellule (CL1) étant connectée à ladite source de courant (C), tandis que la paire de pôles aval d'une dernière cellule (CLn) est connectée à ladite source de tension (SE), ce convertisseur comprenant encore un condensateur (C1, C2..., Cn), pour chaque cellule, sauf que celui de la dernière peut être omis quand ladite source de tension (SE) est apte à en jouer le rôle, connecté entre les deux pôles de la paire de pôles aval de la cellule, ainsi que des moyens de commande régissant le fonctionnement nominal du convertisseur en agissant sur les interrupteurs des cellules successives de sorte que les deux interrupteurs d'une même cellule soient toujours respectivement dans des états de conduction opposés, de sorte que, en réponse à un signal de commande de cellule (CT1, CT2..., CTn) fourni par lesdits moyens de commande, l'un des deux interrupteurs d'une même cellule soit successivement dans un premier état de conduction, puis dans un second état de conduction durant une période cycliquement répétée, et de sorte que, en réponse à des signaux de commande de cellules identiques mais décalés dans de temps d'une fraction de ladite période, les interrupteurs des cellules successives aient respectivement le même fonctionnement, mais décalé dans le temps de ladite fraction de période, les condensateurs successifs (C1, C2..., Cn) ayant nominalement des tensions de charge moyennes respectivement croissantes, la tension de charge moyenne nominale du condensateur de chacune desdites cellules étant égale au produit d'une tension (VE) issue de ladite source de tension (SE), par l'inverse du nombre de cellules et par le rang de la cellule, ledit convertisseur comprenant des moyens pour évaluer la tension moyenne aux bornes de chacun

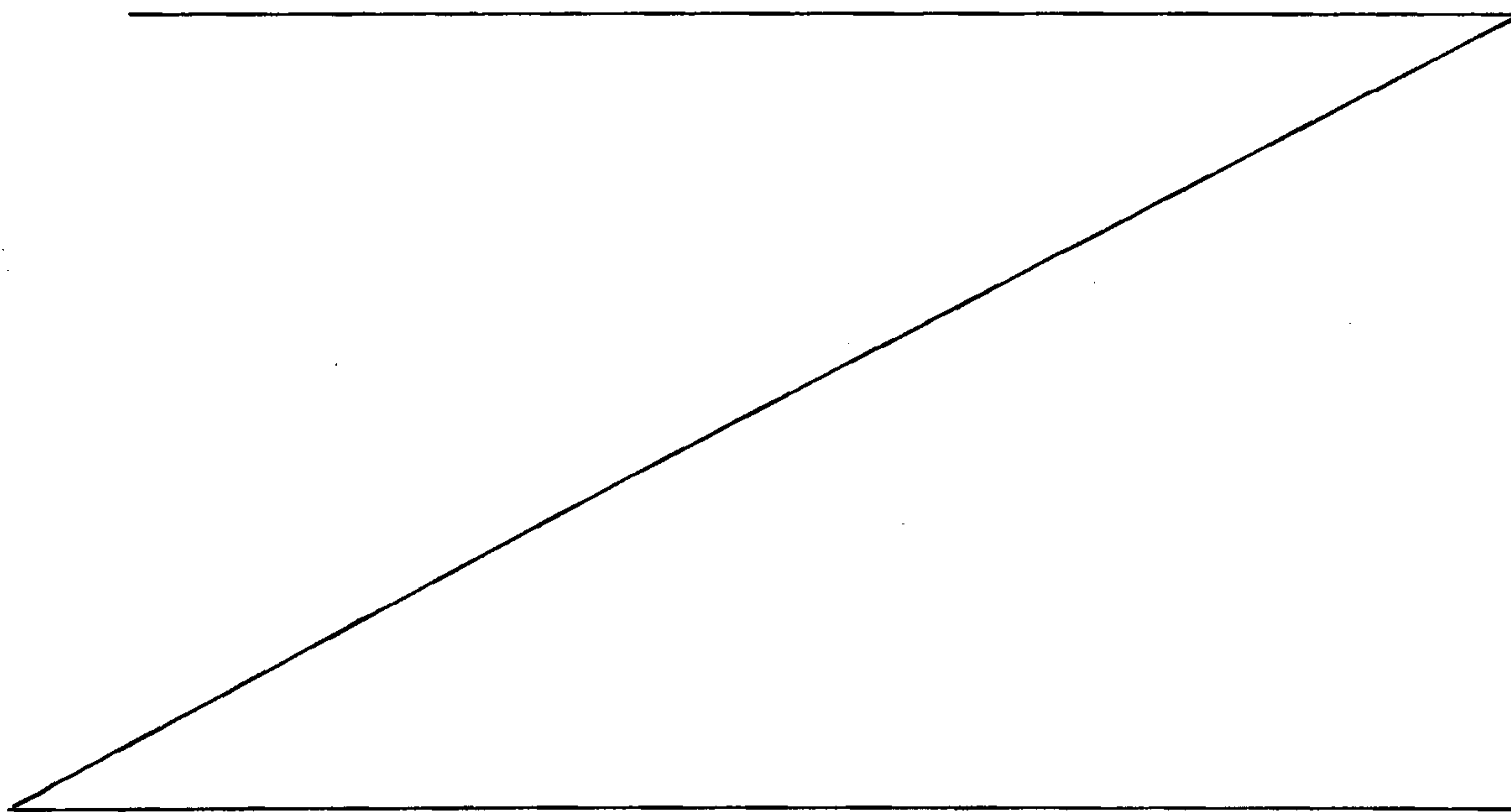
8b

des condensateurs ($C_1, C_2, \dots, C_n$) et pour constater un écart entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension nominale, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de commande complémentaires arrangés pour pouvoir modifier sur commande la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules dans un sens tel que ledit écart constaté entre la tension de charge moyenne et la tension nominale soit réduit.

De préférence, le convertisseur multinationaux comprend
10 des moyens de commande complémentaires arrangés pour pouvoir modifier sur commande la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules.

Dans une première forme de mise en oeuvre de l'invention, ladite modification de la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules s'effectue par avance ou retard de ce premier état de conduction, sans changement dans l'ordre de fonctionnement des cellules du convertisseur.

20



Un tel agencement permet, en modifiant la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules, de causer une variation de la tension appliquée à ladite source de courant, c'est-à-dire déjà une
5 variation de l'énergie transférée à la source de courant, mais aussi d'induire une variation correspondante du courant de la source de courant et, par conséquent une variation de charge du ou des condensateurs affectés par cette variation de courant.

10 Selon une deuxième forme de mise en oeuvre de l'invention, ladite modification de la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules comprend un changement dans l'ordre de fonctionnement des cellules du convertisseur au cours d'une
15 période de découpage du convertisseur, visant à regrouper le fonctionnement des étages du convertisseur manifestant des écarts de charge de même sens.

Une telle modification fait apparaître, une composante perturbatrice globale dans laquelle les écarts de même sens
20 se renforcent et cela augmente l'efficacité du processus de résorption spontanée des écarts de charge des condensateurs du convertisseur.

Selon une caractéristique additionnelle de l'invention, une charge de rééquilibrage est connectée en
25 parallèle sur ladite source de courant, sous la forme d'un circuit résonnant série accordé sur la fréquence de découpage du convertisseur, ceci afin de d'augmenter le courant résultant de ladite composante perturbatrice globale.

30 Le convertisseur multiniveaux comprend de préférence des moyens pour constater, pour chacun desdits condensateurs, un écart éventuel entre une tension de charge moyenne évaluée et une tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, ainsi que des moyens de commande
35 complémentaires modifiant la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules du

convertisseur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

Selon une forme de réalisation conforme à ladite première forme de mise en oeuvre de l'invention, le
5 convertisseur multiniveaux comprend des moyens pour constater, pour chacun desdits condensateurs, un écart éventuel entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, ainsi qu'un dispositif de commande complémentaires modifiant la
10 position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule du convertisseur contenant ce condensateur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

Selon cette forme de réalisation, lesdits moyens de constatation d'écart comprennent des moyens pour recevoir la
15 valeur de la tension de la source de tension, le rang de l'étage et le nombre d'étages, pour déterminer ce que doit être en conséquence la tension de charge nominale de chaque condensateur dans une période de fonctionnement du convertisseur, ledit écart étant alors constaté, pour chaque
20 condensateur du convertisseur, par des moyens de comparaison soustrayant ladite tension moyenne évaluée de ladite tension de charge nominale de ce condensateur.

Avantageusement, ladite tension moyenne évaluée d'un condensateur est fournie par des moyens d'évaluation
25 comprenant un réseau voltmétrique connecté entre les deux bornes du condensateur.

En variante, ladite tension moyenne évaluée d'un condensateur est fournie par des moyens d'évaluation comprenant un réseau voltmétrique connecté entre les deux
30 bornes d'un interrupteur de la cellule comprenant ce condensateur.

Selon une autre variante, lesdits moyens d'évaluation de la tension aux bornes d'un condensateur comprennent un réseau voltmétrique connecté entre les deux bornes de la
35 source de courant.

De préférence, chacun desdits dispositifs de commande complémentaires reçoit, outre ledit signal d'écart, une mesure du courant imposé par ladite souce de courant et une constante exprimant la capacité d'un desdits condensateurs
5 qui lui est associé, et calcule en conséquence une modification de la position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur telle qu'elle engendre dans ce condensateur une charge complémentaire contribuant à compenser ledit écart de
10 charge.

De préférence encore, chacun desdits dispositifs de commande complémentaires reçoit aussi un signal de modulation et modifie en conséquence la durée dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur,
15 de sorte que, tous lesdits dispositifs de commande complémentaires agissant de même, ladite source de courant reçoive une tension moyenne modulée selon ledit signal de modulation.

De préférence enfin, chacun desdits dispositifs de commande complémentaires reçoit d'un dispositif de commande complémentaire voisin un signal de modification établi dans ce dernier et définissant une modification que ce dispositif de commande complémentaire voisin apporte à ladite position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule
25 qui lui est associée, afin que ledit dispositif de commande complémentaire considéré modifie en conséquence ladite position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule qui lui est propre, dans un sens qui compense pour le condensateur associé à cette dernière cellule
30 l'effet de ladite modification apportée dans la cellule voisine.

Additionnellement, chacun desdits dispositifs de commande complémentaires reçoit, outre ledit signal d'écart, une mesure du courant imposé par ladite source de courant et
35 une constante exprimant la capacité d'un desdits condensateurs qui lui est associé, ainsi qu'une commande de

variation de marche du convertisseur et calcule en
conséquence une modification de la position dans le temps
dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce
condensateur telle qu'elle engendre aux bornes de ladite
5 source de courant une variation de tension moyenne répondant
à ladite commande.

Les différents objets et caractéristiques de la
présente invention apparaîtront plus clairement dans la
description qui va suivre de modes de mise oeuvre de
10 l'invention, donnée à titre d'exemple non limitatif, en se
reportant aux figures annexées qui représentent :

- la figure 1, déjà décrite, le schéma de principe
d'un convertisseur multiniveaux connu

- la figure 2, déjà décrite, le schéma de principe
15 d'un ensemble de deux étages imbriqués du convertisseur
multiniveaux de la figure 1,

- la figure 3, déjà décrite, des formes d'ondes
décrivant le fonctionnement du convertisseur multiniveaux
des figures 1 et 2, dans le cas où il comprend trois étages,
20

- la figure 4, le schéma de principe de moyens de
commande d'un convertisseur multiniveaux du type des
figures 1, 2 et 3, agencés pour permettre la mise en oeuvre
de l'invention,

- la figure 5, des courbes illustrant la mise en
25 oeuvre de l'invention, conformément aux dispositions de la
figure 4 et à propos d'une cellule de convertisseur
multiniveaux quelconque, telle que celle de la figure 2,
dans le cadre d'une application au maintien de la charge
moyenne des condensateurs du convertisseur,

30 - la figure 6, le schéma de principe de moyens
d'évaluation de tension de charge de condensateur
utilisables dans le dispositif de la figure 4,

- la figure 7, un schéma de principe d'une variante
d'une partie des moyens de la figure 4, correspondant au cas
35 où la tension moyenne de charge de chacun des condensateurs
du convertisseur multiniveaux est dérivé de la connaissance

de la tension aux bornes de chacun des interrupteurs, lorsqu'ils sont ouverts,

- la figure 8, des courbes semblables à celles de la figure 5, illustrant la mise en oeuvre de l'invention, conformément aux dispositions de la figure 4 et à propos d'une cellule de convertisseur multiniveaux quelconque, telle que celle de la figure 2, dans le cadre d'une application à la réduction de la constante de temps du convertisseur;

10 - la figure 9, semblable à la figure 4, le schéma de principe de moyens de commande d'un convertisseur multiniveaux du type des figures 1, 2 et 3, agencés pour permettre la mise en oeuvre de l'invention, incorporant un dispositif de commande centralisé,

15 - la figure 10, une représentation semblable à celle de la figure 5 des impulsions que produisent les étages d'un convertisseur à 7 étages dans un cas où, sur une période de découpage du convertisseur, des inégalités de charge des condensateurs produisent une ondulation de la tension de sortie de fréquence double de la fréquence de découpage du convertisseur,

20 - la figure 11, une représentation semblable à celle de la figure 10, mais dans laquelle, grâce à un réarrangement du fonctionnement des différents étages, la fréquence de l'ondulation produite par les mêmes inégalités de charge des condensateurs devient égale à la fréquence de découpage du convertisseur,

25 - la figure 12, une représentation vectorielle du mode de fonctionnement de convertisseur déjà illustré par la figure 10, faisant apparaître que la tension résultante à la fréquence de découpage du convertisseur est d'amplitude relativement faible,

30 - la figure 13, une représentation vectorielle du mode de fonctionnement de convertisseur déjà illustré par la figure 11, faisant apparaître que, grâce à un réarrangement de la séquence de fonctionnement des étages du

convertisseur, la tension résultante à la fréquence de découpage du convertisseur est d'amplitude relativement forte,

- la figure 14, le schéma du convertisseur de la figure 1 auquel est adjointe une charge accordée CR pour favoriser le rééquilibrage des tensions des condensateurs du convertisseur dans le cas de fonctionnement illustré par la figure 13.

On ne reviendra pas sur la description d'un convertisseur multiniveaux. Les schémas des figures 1, 2 et 3 correspondent à un convertisseur du type décrit dans le document de brevet FR - 2 697 715 A1 auquel le lecteur est renvoyé pour de plus amples détails.

La figure 4 ne représente du convertisseur de la figure 1, que les condensateurs C1, C2..., Cn.

A chacun de ces condensateurs est associé, selon l'invention, un dispositif d'évaluation VMO1, VMO2..., VMO_n contenant des moyens permettant d'évaluer la tension de charge moyenne de chacun des condensateurs. A cette fin, ce dispositif est couplé aux deux bornes du condensateur. Il fournit un signal d'évaluation VO1, VO2..., VO_n exprimant la tension de charge moyenne existant aux bornes du condensateur.

A chacun des condensateurs est également associé, selon l'invention, un dispositif de constatation d'écart VE1, VE2..., VEn contenant des moyens permettant de constater un écart éventuel entre la tension de charge moyenne observée, qu'il reçoit du dispositif d'évaluation correspondant, et la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur. Ce dispositif de constatation d'écart calcule lui-même la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, qui est la fraction $1/n$, n étant le nombre d'étages du convertisseur, de la tension VE de la source de tension SE, multipliée par le rang R de l'étage. Ce dispositif reçoit donc la valeur VE, tandis que les valeurs n et R , qui sont des constantes, sont câblées dans chaque dispositif. Ce

dernier en dérive la tension de charge moyenne nominale $VE.R/n$ et la compare à la tension de charge moyenne évaluée pour fournir un signal d'écart $VEC1, VEC2..., VECn$, caractérisant la différence entre ces deux tensions.

5 Ce signal d'écart est destiné à agir sur des moyens de commande complémentaires inclus dans des modules de commande $MCC1, MCC2..., MCCn$. Ces modules de commande fonctionnent en réponse à des signaux de déclenchement $sd1, sd2..., sdn$ qui leur sont fournis à chaque période telle que $p1$ (figure 3)

10 par une base de temps BT , de façon décalée, pour la commande décalée des cellules de commutation du convertisseur, et leur fonction primaire est de produire, au cours de chaque période, une impulsion de commande dont la durée nominale est déterminée par la valeur du signal de modulation ou

15 modulante M , issu d'un dispositif de commande de marche DC. Ils produisent ainsi des impulsions de commande $CT1, CT2...CTn$ dont la largeur est modulée de la façon illustrée par les lignes $T1, T2, T3$ de la figure 3. Lesdits moyens complémentaires des modules de commande $MCC1, MCC2..., MCCn$

20 apportent secondairement une modification à la position dans le temps de cette impulsion qui dépend de la valeur du signal d'écart $VEC1, VEC2..., VECn$, ainsi que du courant I imposé par la source de courant. Lesdits moyens complémentaires des modules de commande $MCC1, MCC2..., MCCn$

25 apportent encore, de préférence, une modification à la position dans le temps de cette impulsion qui dépend de celle qui est apportée à sa propre impulsion de commande par un module de commande voisin et qui lui est signalée par un signal de modification $SM1, SM2..., SMn$ que produit chacun

30 des modules de commande $MCC1, MCC2..., MCCn$. Dans l'exemple de la figure 4, le signal $SM1$ est produit par le module de commande $MCC2$, le signal $SM2$ par un module $MCC3$ non représenté. On a figuré un signal SMn pour le module de commande $MCCn$, pour des raisons d'homogénéité, mais il

35 n'existe pas, dans la mesure où il n'existe pas de module de commande $MCCn+1$. Lesdits moyens complémentaires des modules

de commande MCC1, MCC2..., MCCn apportent enfin une modification à la position dans le temps de cette impulsion qui dépend d'un signal de commande de marche CC1, CC2..., CCn issu du dispositif de commande de marche DC déjà mentionné, lui-même soumis à une commande de marche CC. On discutera de ce dernier aspect à la fin de la présente description seulement. Les signaux résultants CT1, CT2..., CTn commandent l'état des interrupteurs dans les cellules de commutation correspondantes CL1, CL2..., CLn.

10 Plus précisément, le signal d'écart retardera (ou avancera) les états "1" de l'interrupteur correspondant T1, T2..., Tn (voir figure 1), par rapport à une position nominale définie à partir de celle du signal de déclenchement sd1, sd2..., sdn. Plus précisément encore, dans cette première forme de mise en oeuvre de l'invention, une telle modification de position dans le temps du fonctionnement d'étages du convertisseur aura lieu sans modification de l'ordre selon lequel fonctionnent successivement les étages du convertisseur. Cette

15 modification de la position dans le temps de l'impulsions de commande de l'interrupteur dépendra de l'écart de charge à corriger, mais aussi du courant dans la source de courant I, mesuré par un capteur de courant de type classique inséré en série avec la source de courant, ainsi que de la capacité du

20 condensateur qui est une constante câblée dans le module de commande complémentaire.

Elle dépendra en outre de la position dans le temps conférée à l'impulsion de commande voisine, en application de ce qui a été expliqué précédemment, à savoir que "le

30 condensateur C1 reçoit des charges additionnelles positives par le même courant qui fournit des charges additionnelles négatives au condensateur C2". Donc, par exemple, l'avancement de l'impulsion de commande CT2, qui rend passant le commutateur T2, ce qui charge positivement le

35 condensateur C1 et négativement le condensateur C2, apporte une charge négative additionnelle souhaitable au

condensateur C2, en même temps qu'une charge positive additionnelle indésirable au condensateur C1. Cet avancement est donc indiqué au module de commande MCC1 par le signal SM1 qui est utilisé pour corriger la position dans le temps du signal de commande CT1 dans un sens tel que soit corrigée la charge positive additionnelle indésirable mentionnée (avant qu'elle se soit produite).

Bien entendu, le sens de telles corrections de proche en proche sera inversé dans les cas où l'influence des variations de charge d'un condensateur sur l'autre a lieu dans l'autre sens.

La figure 5 illustre le mode d'action des dispositions que l'on vient de décrire. A l'instar de l'exemple de fonctionnement de la figure 3, on y représente en VS la tension appliquée par le convertisseur à la source de courant, dans laquelle on retrouve des périodes de convertisseurs cycliquement répétées pc1, pc2..., contenant chacune trois impulsions, ic1, ic2, ic3, chacune provenant de l'un des étages d'un convertisseur à trois étages et délimitée par une impulsion de commande correspondante. En CC on a représenté le courant dans la source de courant et, par conséquent, dans les étages du convertisseur. On considérera ici le cas d'une source de courant inductive, dans laquelle le courant varie, certes lentement, en raison de la tension appliquée à la source de courant. Bien entendu, ces variations on été amplifiées sur la figure, afin de la rendre plus lisible.

Dans la partie de gauche de la figure, période de découpage du convertisseur pc1, les impulsions ic1, ic2, ic3 sont situées au tout début, au premier tiers et au deuxième tiers de la période, ce qui correspond à leurs positions nominales respectives. Dans l'exemple de fonctionnement considéré, où ces impulsions sont courtes et ne se recouvrent pas, l'amplitude de ces impulsions, vues aux bornes de la source de courant, de la sortie du convertisseur par exemple, est égale à $VE/3$. La tension

moyenne fournie, représentée en pointillé, est ainsi égale à v_m . Le courant i_c dans la source de courant augmente pendant les impulsions de la tension de sortie et diminue entre elles, sa valeur moyenne i_{cm} , représentée en pointillé, restant constante.

Dans la partie de droite de la figure 5, période de découpage du convertisseur pc_2 , si la première impulsion ic_1 et la troisième impulsion ic_3 ont conservé leurs positions nominales respectives, l'impulsion ic_2 a été avancée par rapport à la sienne. De ce fait, la valeur moyenne de la tension de sortie manifeste un accroissement temporaire indiqué en acm . De même le courant i_c manifeste un accroissement temporaire acm .

Durant le temps où l'interrupteur T_2 (voir figure 1) est conducteur, cet accroissement temporaire de courant augmente la charge du condensateur C_1 et diminue celle du condensateur C_2 , par rapport à ce que produirait le courant i_c maintenu à sa valeur moyenne i_{cm} . Une telle action permet donc de diminuer la charge du condensateur C_2 , présumée excessive.

Dans le cas de fonctionnement considéré ici, cette action a donc été causée par un signal d'écart VEC_2 non nul. Le module de commande MCC_2 a en conséquence décalé l'impulsion de commande CT_2 de manière à engendrer le déplacement de l'impulsion ic_2 de la période pc_2 indiqué sur la figure. Le déplacement en question est de sens et d'amplitude tel qu'il réduise substantiellement, voir annule complètement l'écart de charge qui est à son origine.

Cette action a par ailleurs aussi pour conséquence une augmentation correspondante de la charge du condensateur C_1 . Cela nécessite une action corrective relative à ce condensateur, par décalage de l'impulsion de commande du commutateur T_1 . Cette action corrective pourrait avoir lieu lors d'une période de fonctionnement ultérieure du convertisseur. Selon une forme de réalisation préférée, elle est introduite dans la même période de découpage du

convertisseur, du fait que chaque module de commande reçoit du module voisin un signal de correction SM1, SM2... SMn caractérisant la correction effectuée par ce module et permettant à celui qui le précède de prévoir une correction
5 opposée destinée à la contre-balancer.

Bien entendu, ce qui précède, qui vient d'être illustré par la figure 5 et décrit dans le cas d'impulsions de commande ou d'impulsions de tension fournies par le convertisseur relativement courtes et détachées les unes des
10 autres, s'applique tout aussi bien dans le cas d'impulsions longues telles que celles qui sont représentées sur la droite dans la figure 3.

Par ailleurs, et selon une variante, la correction des écarts de charge des condensateurs peut être prévue dans un
15 dispositif de commande centralisé réalisant les fonctions de tous les modules de commande MCC1, MCC2..., MCCn. Un tel dispositif de commande centralisé MCC est représenté à la figure 9, par ailleurs identique à la figure 4. En variante, on peut prévoir un dispositif réunissant tous les modules de
20 commande MCC1, MCC2..., MCCn, complétés par des interconnexions et des moyens de coordination entre modules, capable donc de prévoir la ou les corrections initiales à apporter au fonctionnement d'un ou de plusieurs étages du convertisseur, ainsi que les corrections subséquentes
25 correspondantes.

Dans un mode de réalisation simple, un tel dispositif maintiendrait la position dans le temps de l'impulsions de commande du premier étage d'interrupteurs, par exemple, et corrigerait tout écart observé par modification de la
30 position dans le temps des impulsions de commande des autres étages, selon ce qui précède. On peut tout aussi bien envisager de maintenir la position nominale de l'impulsion de commande du dernier étage.

Dans ces conditions, l'homme de métier comprendra
35 aisément qu'il est possible, en apportant ainsi une correction d'ensemble affectant tous les étages sauf un,

selon le mécanisme décrit plus haut, d'ajuster la dernière commande pour faire en sorte que l'ensemble des corrections n'ait pas d'effet sur la source de courant, la tension moyenne fournie à la source de courant restant constante et
5 seule l'énergie prélevée sur la source de tension étant modifiée, par accroissement ou réduction de cette énergie prélevée, puis répartition sur les différents étages grâce au mécanisme de correction que l'on vient de décrire.

Le dispositif décrit dans ce qui précède permet ainsi
10 de moduler les positions dans le temps des impulsions de commande des interrupteurs T_k pour que la tension moyenne de chaque condensateur C_k soit à tout instant la plus proche possible de sa tension de charge nominale.

Cette tension de charge nominale, comme on l'a déjà
15 vu, correspond à une fraction de la tension V_E de la source de tension (cf. figure 1) qui dépend du rang k de l'étage considéré.

La tension de charge moyenne du condensateur est donc évaluée de façon cohérente avec ce qui précède, dans un
20 dispositif d'observation VM_1 , VM_2 ..., VM_n , soit VM_k en général.

En se basant sur ce qui précède, et en se reportant à la figure 6, ce dispositif sera composé, selon une forme de mise en oeuvre, d'impédances p_{tk1} et p_{tk2} , connectées en
25 série entre les bornes du condensateur C_k , et fournissant une fraction déterminée de la tension aux bornes de ce condensateur à un convertisseur analogique-numérique CAN fournissant à chaque impulsion f_k une valeur numérique de tension à un circuit de calcul de moyenne SC_k , lequel est lu
30 une fois par cycle du convertisseur, par un circuit de porte PV_k déclenché par un signal g_k . Les signaux f_k et g_k seront avantageusement produits par la base de temps BT (figure 4) et leur position dans la période de fonctionnement du convertisseur sera telle que, après m mesures de tension
35 dans la période de fonctionnement du convertisseur et calcul de la moyenne des résultats de cette mesure, la valeur de la

tension de charge moyenne observée soit disponible sur la sortie V_{Ok} du circuit S_{Ck} , une fois par cycle du convertisseur, au moment opportun pour déterminer, dans les modules de commande $MMC_1, MMC_2, \dots, MMC_n$, la modification
5 décrite en relation avec la figure 4 de la position dans le temps de l'état de conduction approprié (conduction de l'interrupteur T_k dans ce qui précède) de la cellule correspondante.

Il est bien évident que la charge moyenne observée du condensateur C_k peut être obtenue par d'autres moyens.
10

Selon une première variante, illustrée par la figure 7, plutôt que de mesurer la tension aux bornes du condensateur C_k , on mesure la tension V_E de la source de tension, et la tension entre les bornes d'un des
15 interrupteurs de chaque cellule, afin d'établir, par soustraction, et de proche en proche, la tension de charge moyenne de chacun des condensateurs du convertisseur multiniveaux. C'est ainsi que la figure 7 représente l'un des interrupteurs du convertisseur multiniveaux de la figure
20 1, T_k , auquel est couplé un circuit d'évaluation de tension V_{Ik} , qui peut être conforme à celui de la figure 6, moyennant des adaptations à la portée de l'homme de métier, lequel fournit un signal V_k caractérisant la tension aux bornes de l'interrupteur T_k à un circuit de calcul V_{CC} , en
25 même temps que celui-ci reçoit le signal de commande V_{Ck} de cet interrupteur T_k , ce qui permet au circuit de calcul de ne prendre en considération les valeurs fournies par le circuit d'évaluation V_{Ik} que pendant les périodes où l'interrupteur est bloqué. Le circuit de calcul reçoit
30 directement la tension V_E , qui peut être obtenue, elle-aussi, par un circuit tel que celui de la figure 6, judicieusement simplifié, et il opère le calcul soustractif qui fournit les signaux $V_{O1}, V_{O2}, \dots, V_{On}$ de la figure 4.

Selon une autre variante, qui se déduit aisément de la
35 figure 3, la mesure de l'amplitude des impulsions fournies à la source de courant I représente la tension aux bornes du

condensateur qui leur donne naissance ; un seul dispositif tel que celui de la figure 6, connecté aux bornes de la source de courant C, et évaluant la tension en différents points de la courbe VI de la figure 3, au cours de chaque période, telle que p1, voit apparaître des niveaux vi1, vi2, vi3 issus de chacun des condensateurs. L'homme de métier comprendra aisément comment on peut en dériver les signaux VO1, VO2..., VOn de la figure 3 représentant la charge moyenne évaluée de chacun des condensateurs du convertisseur multiniveaux.

Il reste à revenir sur la description de la figure 4 et en particulier sur le dispositif de commande de marche DC qui, en réponse à une commande de marche CC, fournit des signaux de commande de marche CC1, CC2..., CCn lesquels, dans chacun des modules de commande MCC1, MCC2..., MCCn apportent une modification à la position dans le temps des impulsions de commande CT1, CT2..., CTn.

On a vu, en se reportant à la figure 3, que le convertisseur de l'invention pouvait, en réponse à une modulante M, fournir une tension de sortie d'allure sinusoïdale à la source de courant. Bien entendu, le convertisseur de l'invention peut fournir une tension de sortie d'allure différente, dans certaines limites tout au moins. En effet, comme il a été exposé dans la description relative à la figure 3, le mode nominal de fonctionnement du convertisseur prévoit des périodes de découpage du convertisseur durant lesquelles les différents étages du convertisseur produisent chacun une impulsion, les impulsions de ces étages étant équidistantes et toutes d'une même longueur. Le mécanisme de régulation de la charge des condensateurs du convertisseur décrit en se référant à la figure 5 joue sur la position des impulsions. Si l'on fait abstraction de ce mécanisme, dont l'effet sur la position des impulsions devrait être généralement modéré, du fait que la dérive de la charge des condensateurs devrait en pratique être lente et du fait qu'il permet d'y répondre rapidement,

on voit donc que la réponse du convertisseur à une commande de changement de marche a lieu avec retard, par prise en compte d'une nouvelle valeur de la modulante M au début de la période de découpage du convertisseur suivante. Cela est
5 d'ailleurs souhaitable, car un changement de marche en cours de période, allongeant fortement par exemple l'impulsion vi_2 de la figure 3, engendrerait immédiatement un déséquilibre de charge des condensateurs qui pourrait être préjudiciable aux interrupteurs.

10 L'invention permet donc, additionnellement, de répondre à une commande de changement de marche sans attendre le début de la période de découpage du convertisseur suivante, c'est-à-dire plus rapidement que dans le cas de fonctionnement correspondant aux descriptions
15 précédentes, comme on va le voir maintenant en se référant à la figure 8.

La figure 8 représente une période de découpage du convertisseur pc_3 identique en tout point à la période de découpage du convertisseur pc_1 de la figure 5, laquelle est
20 suivie d'une période de découpage du convertisseur pc_4 qui commence comme la période de découpage du convertisseur pc_2 de la figure 5 par une impulsion ic_1 ayant sa position nominale, le signal de commande de marche CC_1 fournit par le dispositif de commande de marche DC étant inactif.
25 Toutefois, suite à un changement soudain de la commande de marche CC , le dispositif de commande de marche, non seulement change la modulante M, mais encore rend actif les signaux $CC_2...$, CC_n , c'est-à-dire CC_2 et CC_3 , dans l'exemple de fonctionnement de la figure 8. Dans le cas
30 illustré par cette figure, les signaux CC_2 et CC_3 et le fonctionnement des modules de commande MMC_1 à MMC_n sont tels qu'ils avancent dans le temps de la même durée les impulsions ic_2 et ic_3 fournies à la charge. Dans un tel cas, les modules de commande ne tiennent pas compte des signaux
35 de correction SM_1 , $SM_2...$, SM_n .

L'effet produit est illustré par la figure 8. La tension moyenne fournie à la sortie du convertisseur subit un accroissement temporaire v_{mc} dû au rapprochement des impulsions i_{c1} et i_{c2} , suivi d'un affaiblissement temporaire en fin de période, juste avant que le changement de valeur de la modulante en cause une augmentation durable. Le courant moyen subit un accroissement a_{cs} , avant qu'il ne s'établisse durablement à une valeur accrue. Globalement, la tension et le courant dans la charge augmentent dès la période pc_4 , c'est-à-dire sans attendre la période de découpage du convertisseur suivante. Cela apporte le gain en temps de réponse à une commande de changement de marche recherché.

Bien entendu, l'exemple que l'on vient de donner admet de nombreuses variantes. Le dispositif de commande DC peut comprendre des programmes plus ou moins élaborés de réponse aux ordres de changement de marche ; par exemple, à chaque allure dans le temps de la commande de marche CC peuvent correspondre des déplacements appropriés des impulsions de commande restantes de la période de découpage du convertisseur. En effet, dans le cas où le convertisseur alimente un actionneur quelconque, la tension et le courant de sortie du convertisseur procurant un couple d'actionnement, la réponse du dispositif de commande de marche DC devra tenir compte des caractéristiques de l'actionneur afin de lui fournir une alimentation électrique permettant au mieux de satisfaire à la commande de changement de marche.

On va maintenant se tourner vers un deuxième mode de mise en oeuvre de l'invention, en se référant aux figures 10 à 13. Comme on va l'exposer plus en détail, la modification sur commande de la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules n'est plus limitée à une avance ou un retard de ce premier état de conduction, sans changement dans l'ordre de fonctionnement des cellules du convertisseur. On va procéder à un changement dans

l'ordre de fonctionnement des cellules du convertisseur pour faciliter le rééquilibrage spontané des tensions de charge des condensateurs. Il doit être compris que cette mesure peut soit remplacer, soit s'additionner à celle qui consiste
5 à modifier la position dans le temps du fonctionnement des étages du convertisseur sans en changer l'ordre.

La figure 10 représente, en exagérant fortement les écarts pour faciliter la compréhension du phénomène, des impulsions IC1 à IC7 issues des étages successifs d'un
10 convertisseur à 7 étages, quand, tout à la fois, ces impulsions sont produites par le fonctionnement dans l'ordre numérique des étages du convertisseur, à l'instar des exemples de fonctionnement précédemment exposés, et ses impulsions sont modulées par des écarts de charge des
15 condensateurs de ces étages successifs. Comme on l'a expliqué précédemment, la tension de sortie du convertisseur que l'on appellera V_s , est la somme de ces impulsions régulièrement décalées dans le temps. Si elles étaient toutes égales, la tension de sortie V_s serait constante. La
20 figure 10 représente un exemple à cet égard qui se caractérise en ce que, durant la période de découpage du convertisseur pce, il se produit une modulation à deux fois la fréquence de fonctionnement du convertisseur (que l'on appellera f_c et qui est l'inverse de la période pce). Bien
25 entendu cette modulation peut prendre bien d'autres formes et engendrer des harmoniques à des fréquences multiples de la fréquence de découpage du convertisseur f_c . Plus généralement, l'analyse par le développement en série de Fourier de la somme des impulsions de tensions issues des
30 différents étages, fait apparaître que l'on est en présence d'une somme de vecteurs ayant des pulsations multiples de celle du convertisseur, comme ceux que représente la figure 12, laquelle est relative au premier multiple, c'est-à-dire celui qui correspond à f_c . La somme de ces vecteurs V_{s1} est
35 d'amplitude relativement faible, ce qui représente le fait

que des écarts de tensions erratiques ont tendance à se compenser, à la fréquence f_c .

La figure 10 représente la tension aux bornes des interrupteurs bas du convertisseur, égale à $E/7$ au point nominal, soit un septième de la tension E alimentant le convertisseur et une tension RE qui est la tension moyenne V_s , pour des impulsions de la durée illustrée, si toutes les impulsions avaient l'amplitude $E/7$.

Parallèlement, la figure 11 représente les impulsions de la figure 10, dont l'ordre est modifié par un réarrangement visant à regrouper le fonctionnement des étages du convertisseur manifestant des écarts de charge de même sens. L'effet, comme on le voit à la figure 11 est par conséquent une modulation de la tension de sortie V_s par une onde ayant la fréquence de fonctionnement du convertisseur f_c .

Tout aussi parallèlement, la figure 13 représente les vecteurs de la figure 12, dont l'ordre est modifié par un réarrangement visant à regrouper les vecteurs dont les modules sont voisins. L'effet, comme on le voit à la figure 13 est par conséquent une résultante V_{s2} d'une amplitude augmentée par rapport au cas précédent.

Or, l'ondulation de la tension de sortie V_s , aux figures 10 et 11, tout comme la présence d'un vecteur V_{s1} ou V_{s2} , aux figures 12 et 13, manifeste une tension perturbatrice ayant sa source dans les écarts de charge des condensateurs du convertisseur. L'invention consistant à opérer le réarrangement des figures 11 et 13 augmente cette tension perturbatrice, spécialement à la fréquence de découpage du convertisseur f_c . Dans la mesure où cette tension cause un courant, ce courant va agir sur la charge des condensateurs dans un sens tel que les écarts de charge qui lui donnent naissance seront spontanément dissipés. Et, dans la mesure où le réarrangement consiste à renforcer l'amplitude de la tension de sortie perturbatrice, cela

contribue à accélérer cette dissipation, donc la réduction des écarts de charge.

Le réarrangement que l'on vient d'illustrer à l'aide des figures 10 à 13 peut être aisément mis en oeuvre par un
5 algorithme de commande approprié, exploitant, en les comparant et en les triant les tensions ou écarts de charge des condensateurs, dans un dispositif de commande centralisée tel que celui qui est représenté à la figure 9.

L'effet de ces mesures peut encore être accru en
10 ajoutant au convertisseur de la figure 1, tel que le représente la figure 14, une charge accordée CR, inductance résistance et condensateur en série, ayant une impédance faible - quasi-nulle - à la fréquence de découpage du convertisseur f_c . On comprendra que, quelle que soit la
15 charge C, la charge accordée CR offrira un chemin à faible impédance au courant issu de la tension perturbatrice à la fréquence de découpage du convertisseur f_c , donc favorisera le rééquilibrage des tensions de charge des condensateurs du convertisseur.

20 Par ailleurs, il va de soi que les mêmes mesures peuvent être appliquées en ce qui concerne des composantes de la tension perturbatrice aux fréquences multiples de la fréquence de découpage du convertisseur f_c . Ces composantes peuvent être représentées par des diagrammes vectoriels
25 semblables à celui de la figure 13 et il l'on peut appliquer l'invention en ce qui les concerne, notamment en prévoyant une charge adaptée supplémentaire, au côté de la charge adaptée CR de la figure 14.

Il est bien évident que les descriptions qui précèdent
30 n'ont été données qu'à titre d'exemple limitatif et que les valeurs numériques, notamment, peuvent changer avec chaque application.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur multiniveaux comprenant notamment, entre une source de tension (SE) et une source de courant (C), une succession de cellules de commutation commandables (CL1, CL2..., CLn), chacune ayant deux interrupteurs (T1, T'1; T2, T'2...; Tn, T'n), avec un pôle de chacun des deux interrupteurs constituant une paire de pôles amont et l'autre pôle de chacun des interrupteurs constituant une
10 paire de pôles aval, la paire de pôles aval d'une cellule amont étant connectée à la paire de pôles amont d'une cellule aval et la paire de pôles amont d'une première cellule (CL1) étant connectée à ladite source de courant (C), tandis que la paire de pôles aval d'une dernière cellule (CLn) est connectée à ladite source de tension (SE), ce convertisseur comprenant encore un condensateur (C1, C2..., Cn), pour chaque cellule, sauf que celui de la dernière peut être omis quand ladite source de tension (SE) est apte à en jouer le rôle, connecté entre les deux pôles
20 de la paire de pôles aval de la cellule, ainsi que des moyens de commande régissant le fonctionnement nominal du convertisseur en agissant sur les interrupteurs des cellules successives de sorte que les deux interrupteurs d'une même cellule soient toujours respectivement dans des états de conduction opposés, de sorte que, en réponse à un signal de commande de cellule (CT1, CT2..., CTn) fourni par lesdits moyens de commande, l'un des deux interrupteurs d'une même cellule soit successivement dans un premier état de conduction, puis dans un second état de conduction
30 durant une période cycliquement répétée, et de sorte que, en réponse à des signaux de commande de cellules identiques

mais décalés dans le temps d'une fraction de ladite période, les interrupteurs des cellules successives aient respectivement le même fonctionnement, mais décalé dans le temps de ladite fraction de période, les condensateurs successifs ($C_1, C_2, \dots, C_n$) ayant nominale des tensions de charge moyennes respectivement croissantes, la tension de charge moyenne nominale du condensateur de chacune desdites cellules étant égale au produit d'une tension (V_E) issue de ladite source de tension (S_E), par l'inverse du nombre de
10 cellules et par le rang de la cellule, ledit convertisseur comprenant des moyens pour évaluer la tension moyenne aux bornes de chacun des condensateurs ($C_1, C_2, \dots, C_n$) et pour constater un écart entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension nominale, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de commande complémentaires arrangés pour pouvoir modifier sur commande la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules dans un sens tel que ledit écart constaté entre la tension de charge moyenne et la tension nominale soit
20 réduit.

2. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que, ladite modification de la position dans le temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules s'effectue par avance ou retard de ce premier état de conduction, sans changement dans l'ordre de fonctionnement des cellules du convertisseur.

3. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que ladite modification de la position dans le temps dudit premier état de
30 conduction d'une ou plusieurs cellules comprend un

changement dans l'ordre de fonctionnement des cellules du convertisseur au cours d'une période de découpage du convertisseur, visant à regrouper le fonctionnement des étages du convertisseur manifestant des écarts de charges de même sens.

4. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 3, caractérisé en ce qu'une charge de rééquilibrage est connectée en parallèle sur ladite source de courant, sous la forme d'une impédance série accordée sur la
10 fréquence de découpage du convertisseur, afin d'augmenter le courant résultant de ladite composante perturbatrice globale.

5. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour constater, pour chacun desdits condensateurs, un écart éventuel entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, ainsi que des moyens de commande complémentaires modifiant la position dans le
20 temps dudit premier état de conduction d'une ou plusieurs cellules du convertisseur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

6. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 2 et à la revendication 5 en ce qu'elle se réfère à la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour constater, pour l'un desdits condensateurs, un écart éventuel entre la tension de charge moyenne évaluée et la tension de charge moyenne nominale de ce condensateur, ainsi qu'un dispositif de commande complémen-

taires modifiant la position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule du convertisseur contenant ce condensateur un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

7. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens de constatation d'écart comprennent chacun des moyens pour recevoir la valeur de la tension de la source de tension, le rang de l'étage et le nombre d'étages, pour déterminer
10 ce que doit être en conséquence la tension de charge nominale de chaque condensateur dans une période de fonctionnement du convertisseur, ledit écart étant alors constaté, pour chaque condensateur du convertisseur, par des moyens de comparaison soustrayant ladite tension moyenne évaluée aux bornes de chaque condensateur de ladite tension de charge nominale des condensateurs.

8. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens d'évaluation de la tension aux bornes de chaque condensateur comprennent
20 un réseau voltmétrique connecté entre les deux bornes du condensateur.

9. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens d'évaluation de la tension aux bornes de chaque condensateur comprennent un réseau voltmétrique connecté entre les deux bornes d'un interrupteur de chaque cellule.

10. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens d'évaluation

de la tension aux bornes de chaque condensateur comprennent un réseau voltométrique connecté entre les deux bornes de la source de courant.

11. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une quelconque des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires reçoit, outre ledit signal d'écart, une mesure du courant imposé par ladite source de courant et une constante exprimant la capacité d'un desdits condensateurs qui lui est associé, et
10 calcule en conséquence une modification de la position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur telle qu'elle engendre dans ce condensateur une charge complémentaire compensant ledit écart de charge.

12. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une quelconque des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires reçoit aussi un signal de modulation et modifie en conséquence la durée dudit premier état de conduction de la cellule
20 associée à ce condensateur, de sorte que, tous lesdits moyens de commande complémentaires agissant de même, ladite source de courant reçoive une tension moyenne modulée selon ledit signal de modulation.

13. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une quelconque des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires reçoit d'un moyen de commande complémentaire voisin un signal de modification établi dans ce dernier et définissant une modification que ce moyen de commande complémentaire voisin

apporte à ladite position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule qui lui est associée, afin que ledit moyen de commande complémentaire considéré modifie en conséquence ladite position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule qui lui est propre, dans un sens qui compense pour le condensateur associé à cette dernière cellule l'effet de ladite modification apportée dans la cellule voisine.

14. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une
10 quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires reçoit, outre ledit signal d'écart, une mesure du courant imposé par ladite source de courant et une constante exprimant la capacité d'un desdits condensateurs qui lui est associé, ainsi qu'une commande de variation de marche du convertisseur et calcule en conséquence une modification de la position dans le temps dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur telle qu'elle engendre aux bornes de ladite source de courant une
20 variation de tension moyenne répondant à ladite commande.

FIG. 1 (ART ANTÉRIEUR)

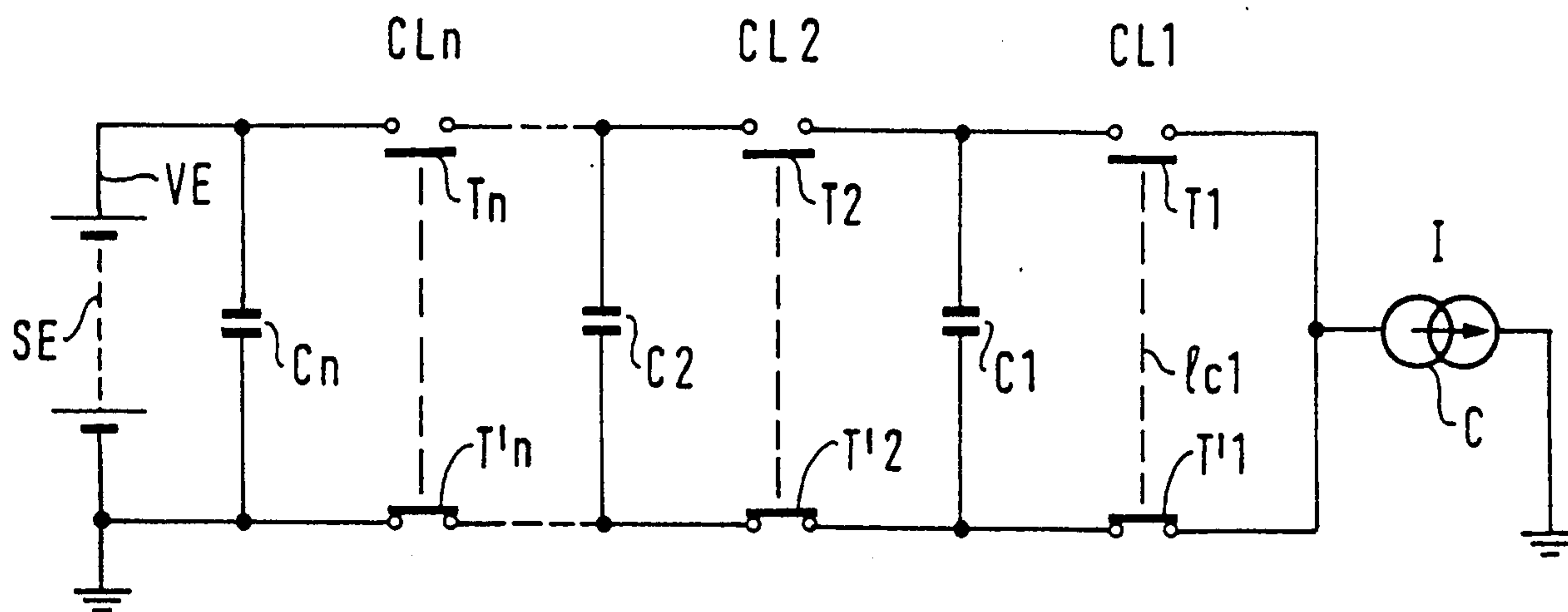


FIG. 2 (ART ANTÉRIEUR)

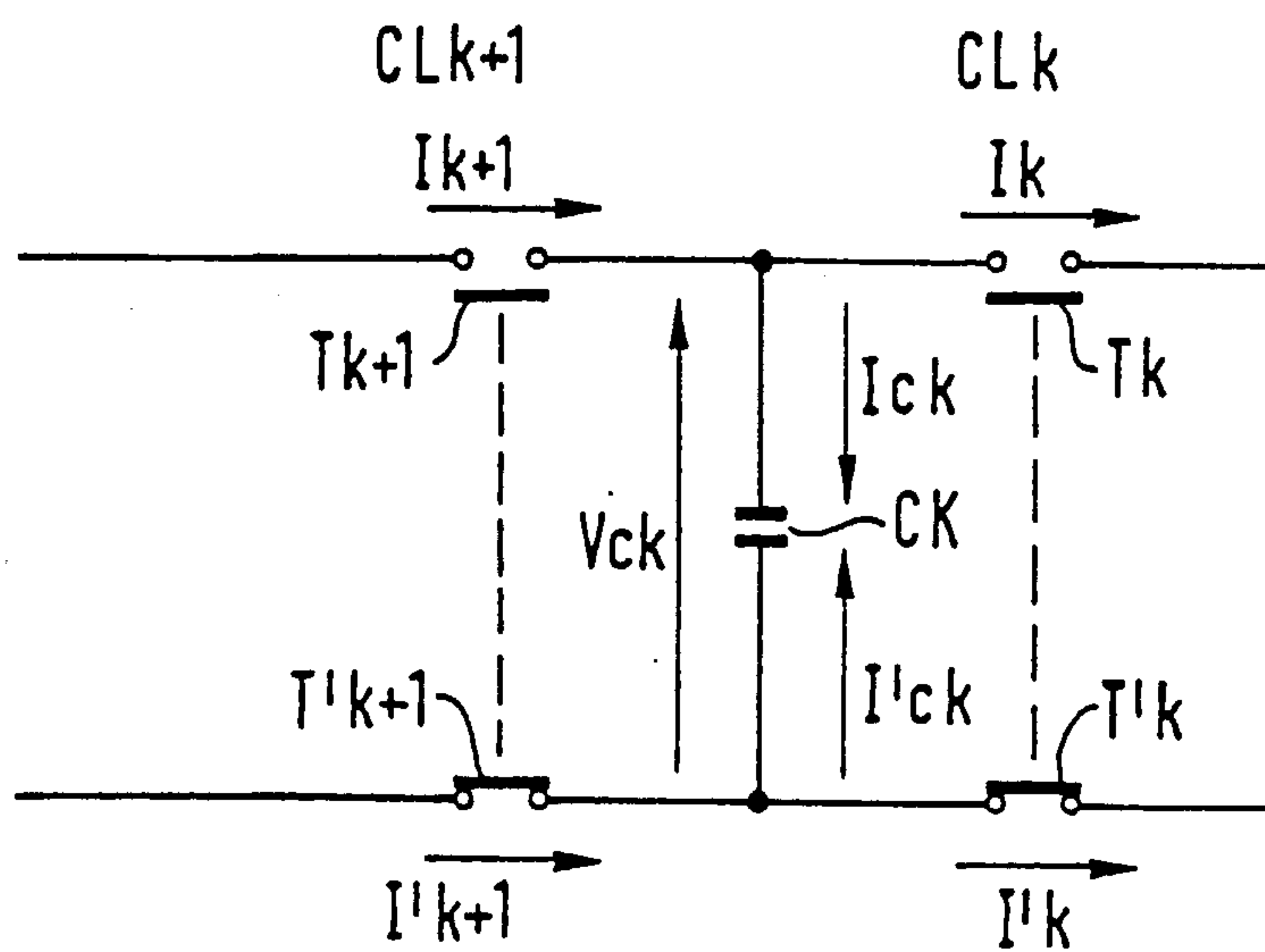


FIG. 3 (ART ANTÉRIEUR)

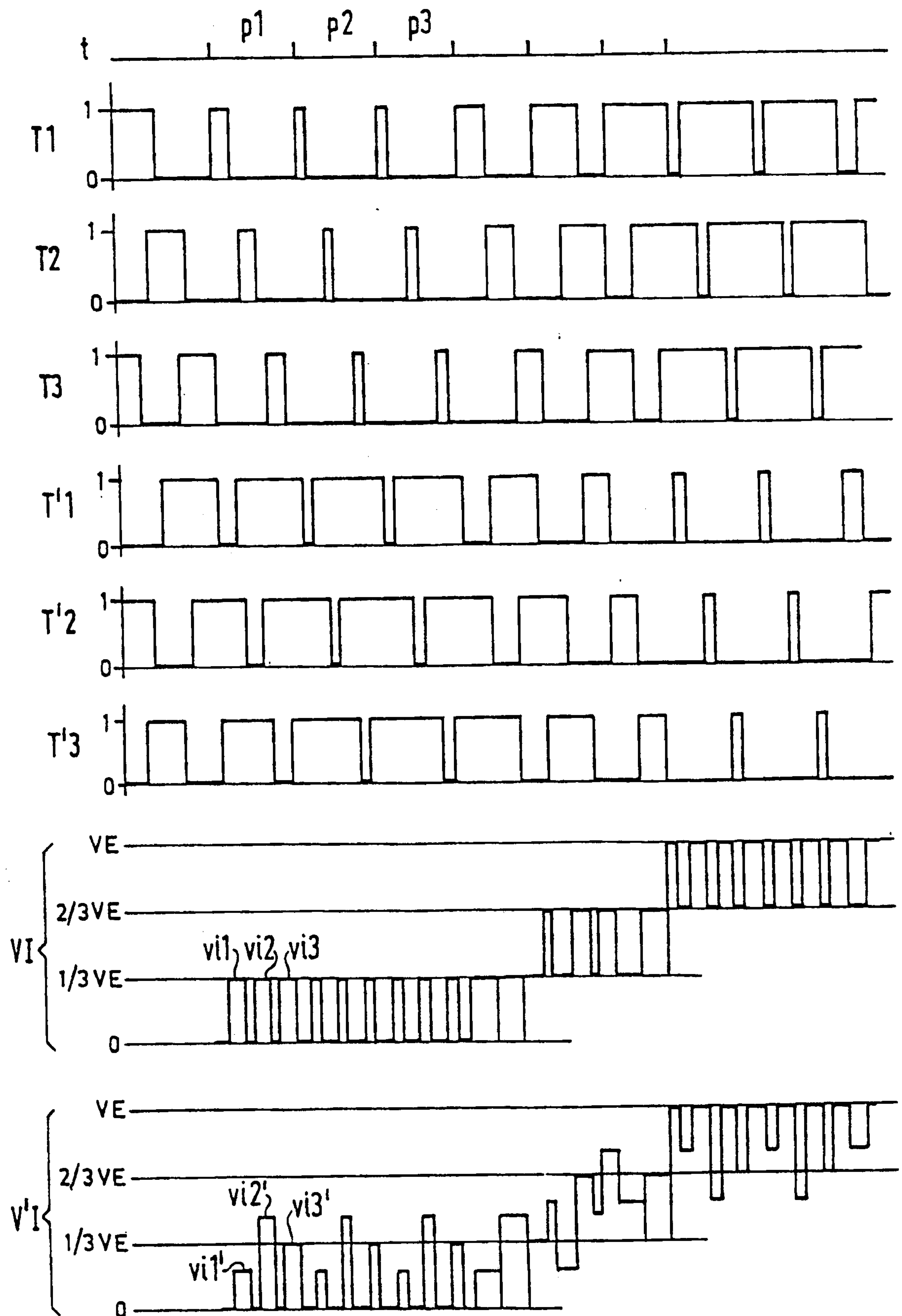


FIG. 4

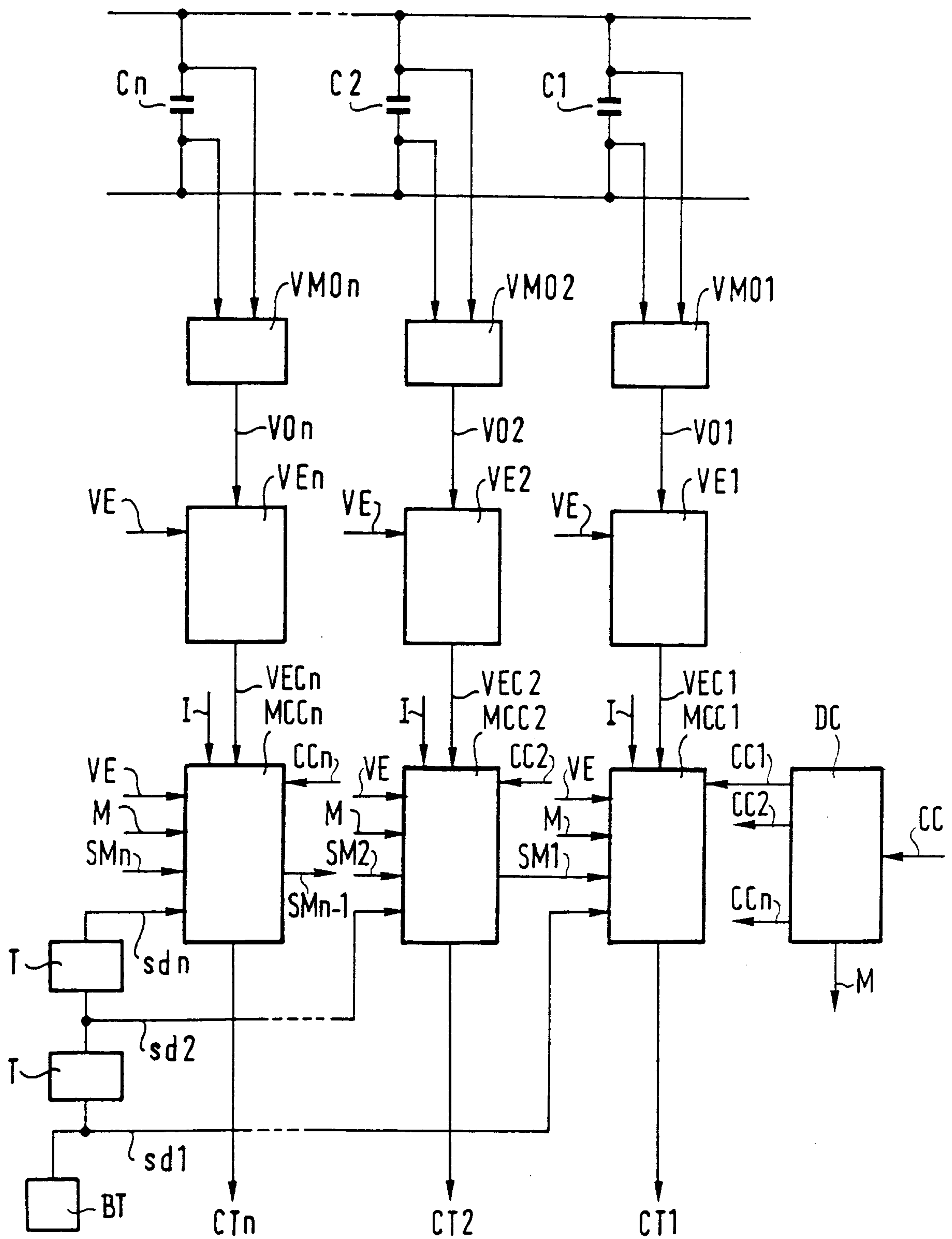


FIG. 5

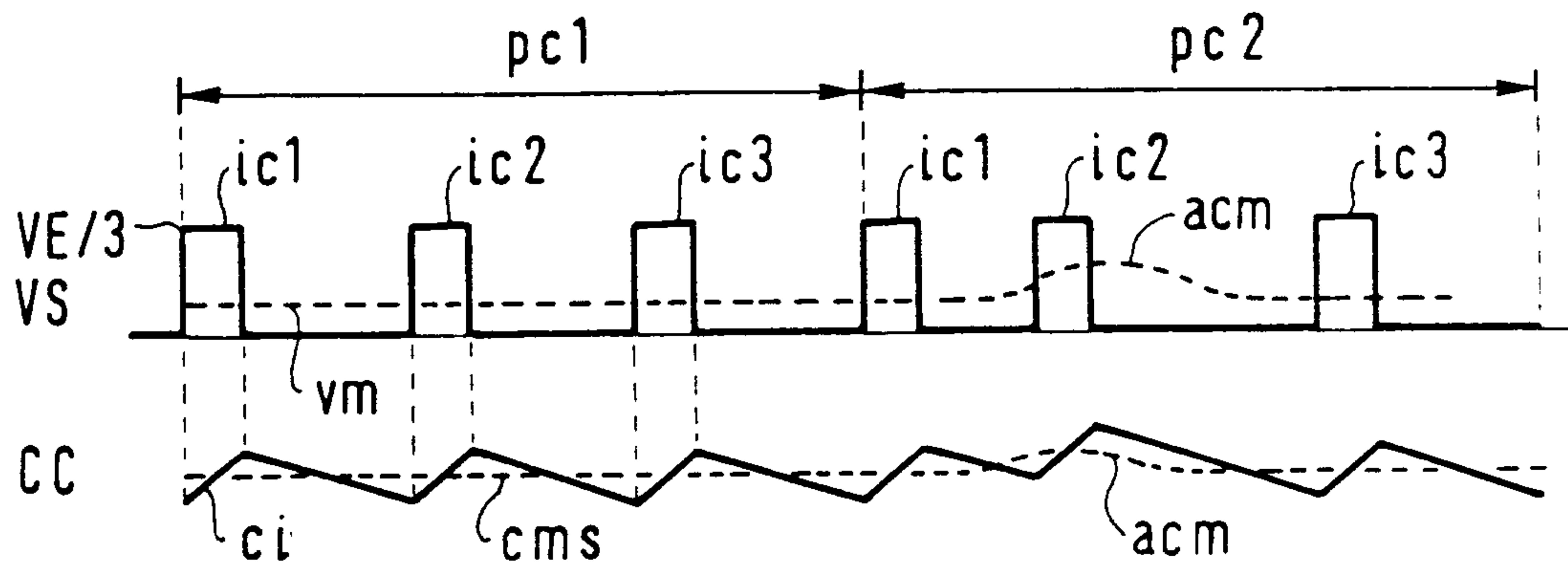


FIG. 6

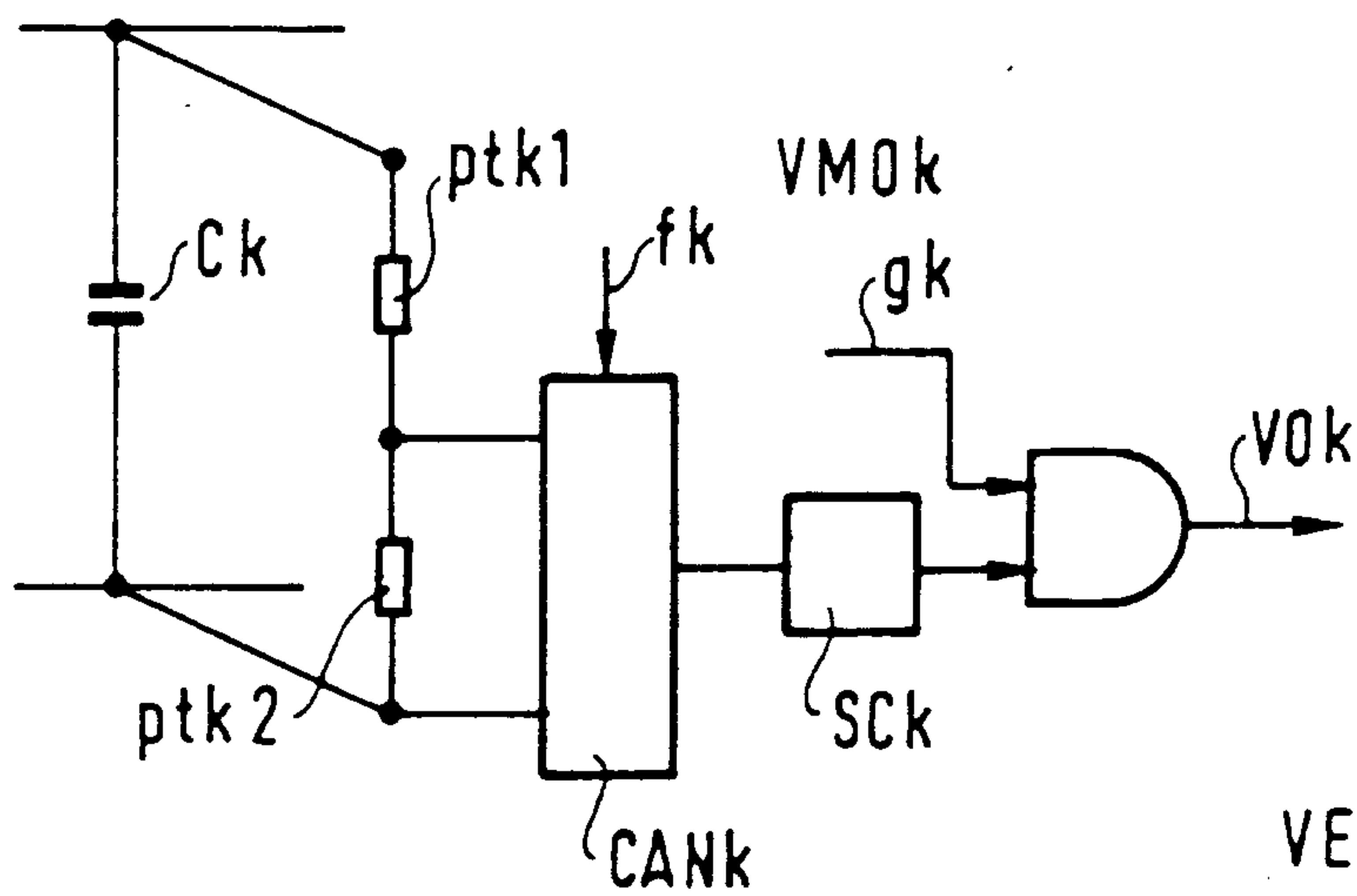


FIG. 7

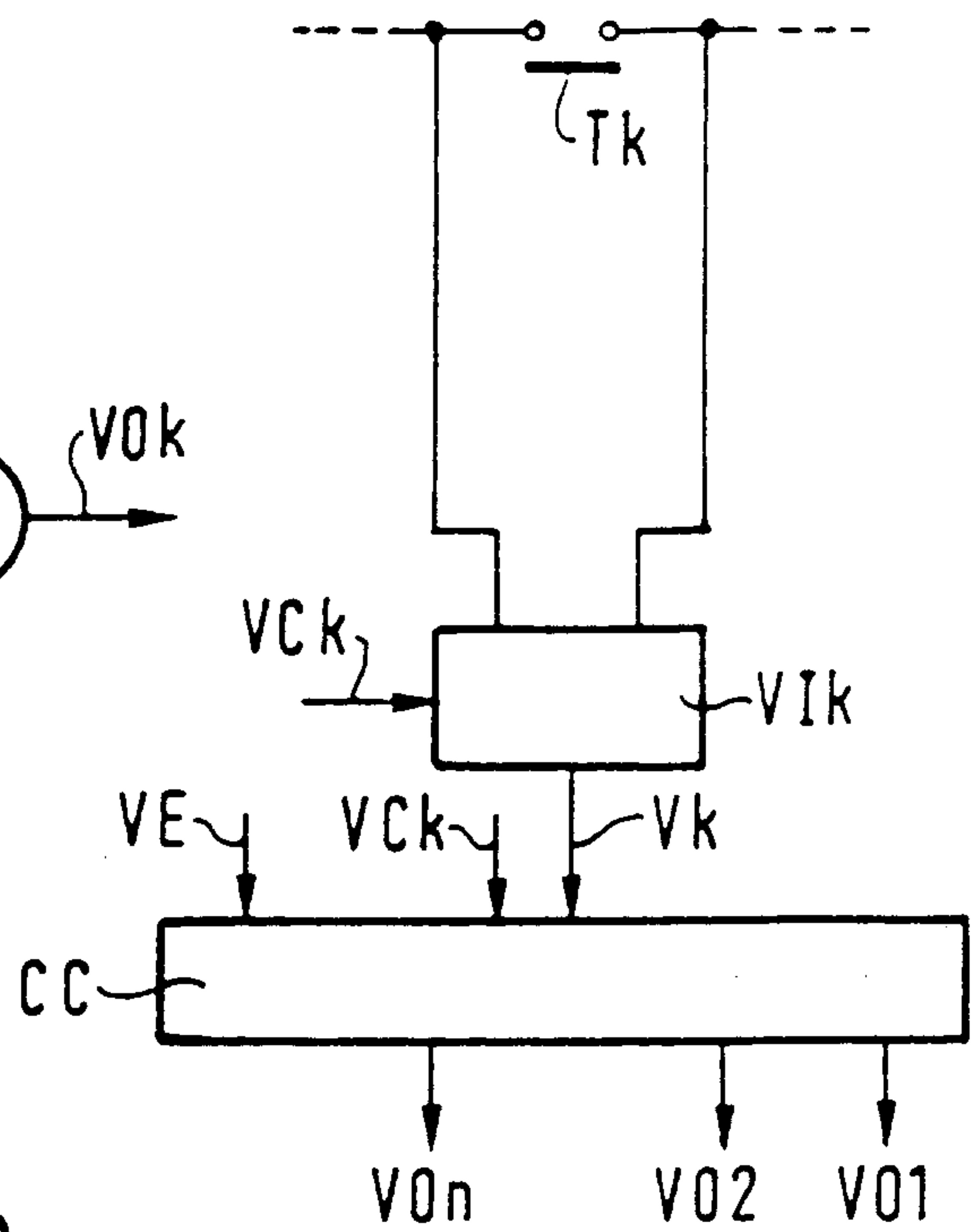


FIG. 8

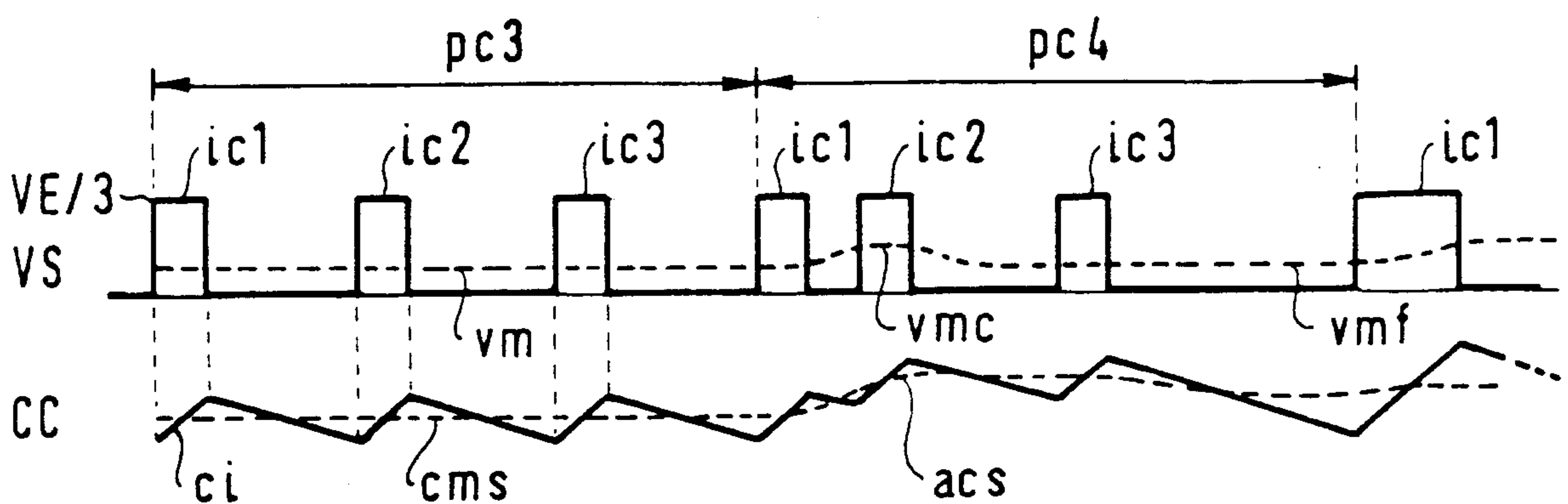


FIG. 9

