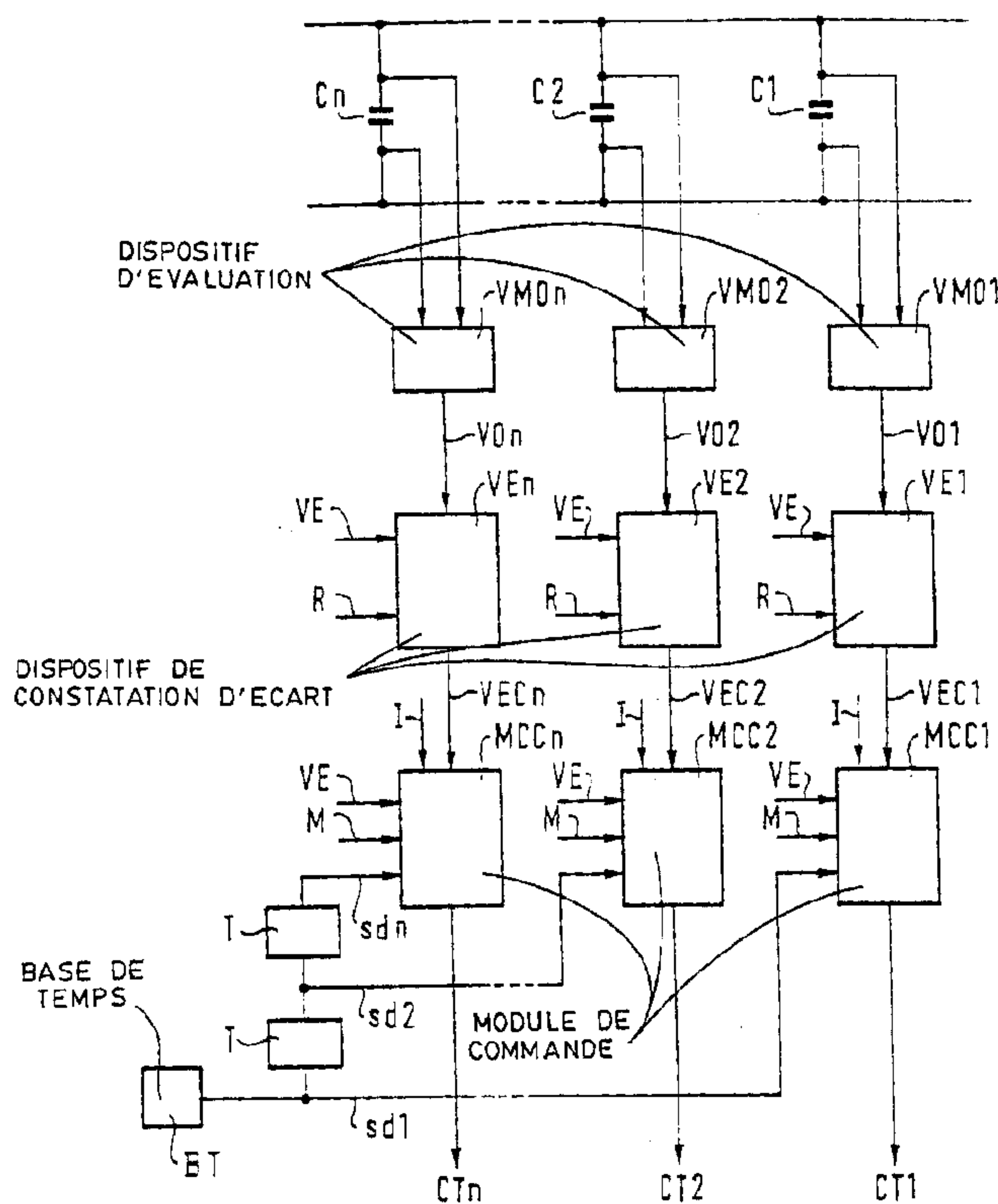




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 1996/03/06
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 1996/09/19
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2004/05/25
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 1996/11/05
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 1996/000348
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 1996/028881
 (30) Priorité/Priority: 1995/03/10 (95/02818) FR

(51) Cl.Int.⁶/Int.Cl.⁶ H02M 7/48, H02M 3/07
 (72) Inventeurs/Inventors:
 MEYNARD, THIERRY, FR;
 LAVIEVILLE, JEAN-PAUL, FR;
 CARRERE, PHILIPPE, FR;
 GONZALEZ, JUAN, FR;
 BETHOUX, OLIVIER, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
 GEC ALSTHOM TRANSPORT S.A., FR
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF ELECTRONIQUE DE CONVERSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE
 (54) Title: ELECTRONIC DEVICE FOR CONVERTING ELECTRICAL ENERGY



(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 (VM01, VM02..., VM0n) de la tension moyenne aux bornes de 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 des signaux de commande du convertisseur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁶ : H02M 7/48, 3/07</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 96/28881 (43) Date de publication internationale: 19 septembre 1996 (19.09.96)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR96/00348 (22) Date de dépôt international: 6 mars 1996 (06.03.96) (30) Données relatives à la priorité: 95/02818 10 mars 1995 (10.03.95) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): GEC ALSTHOM TRANSPORT S.A. [FR/FR]; 38, avenue Kléber, F-75116 Paris (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): MEYNARD, Thierry [FR/FR]; 57, rue Labat-de-Savignac, F-31500 Toulouse (FR). LAVIEVILLE, Jean-Paul [FR/FR]; 6, résidence des Fonds-Fanettes, F-91190 Gif-sur-Yvette (FR). CARRERE, Philippe [FR/FR]; 11, rue Saint-Thomas-d'Aquin, F-31400 Toulouse (FR). GONZALEZ, Juan [FR/FR]; 23, rue du Dauphin Couronné, F-78730 Saint-Arnoult-en-Yvelines (FR). BETHOUX, Olivier [FR/FR]; 46, rue Babin, F-91180 Saint-Germain-lès-Arpajon (FR). (74) Mandataires: CHRETIEN, Gilles etc.; Alcatel Alsthom Recherche, Intellectual Property Dept., 30, avenue Kléber, F-75116 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: AU, BR, CA, CN, JP, KR, RU, UA, US. Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>

2189692

(54) Title: ELECTRONIC DEVICE FOR CONVERTING ELECTRICAL ENERGY

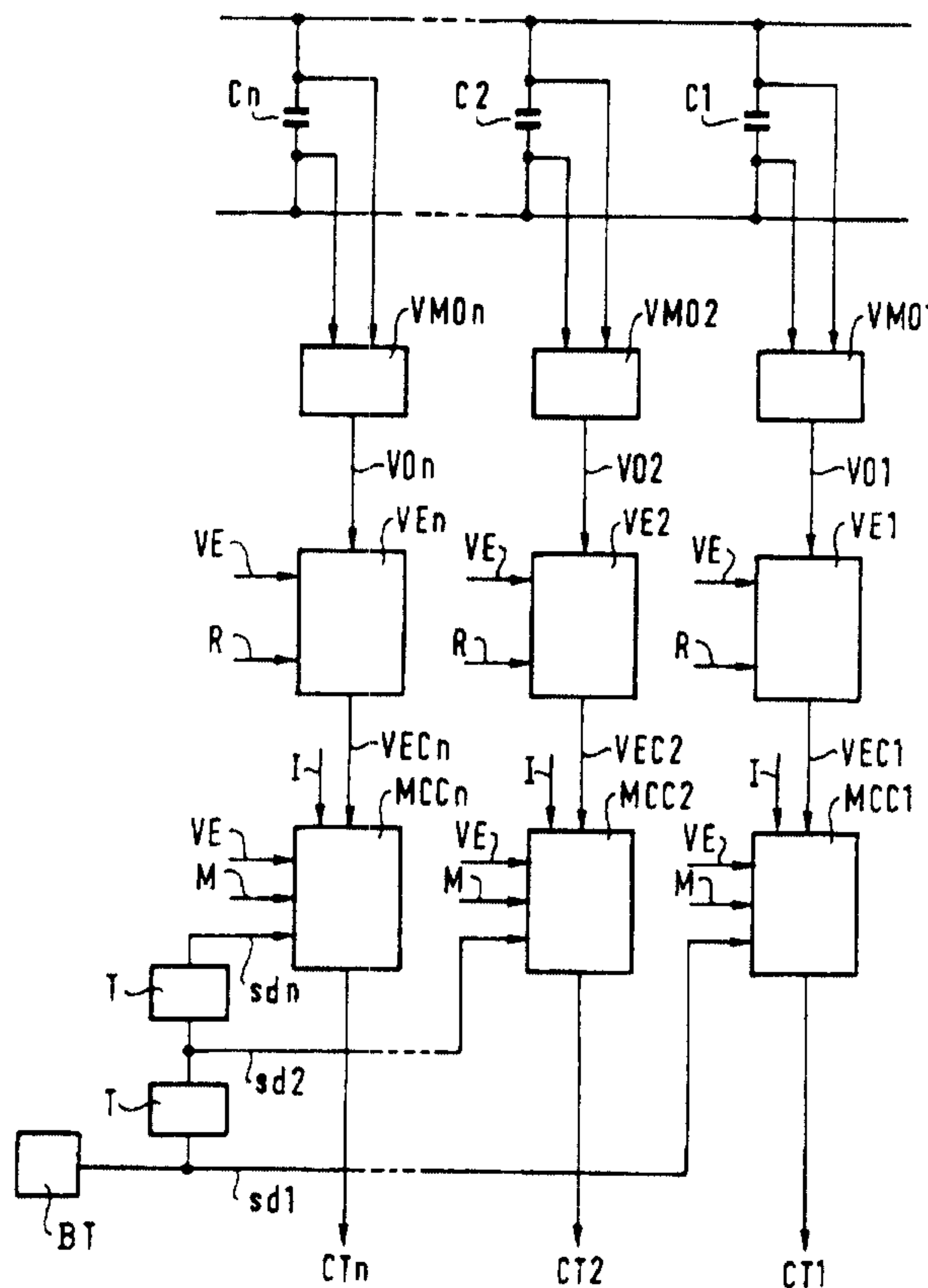
(54) Titre: DISPOSITIF ELECTRONIQUE DE CONVERSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

(57) Abstract

A multilevel converter particularly including one capacitor (C1, C2, ..., Cn) per cell as well as control means including means (VM01, VM02, ..., VMOn) for evaluating the average voltage across the terminals of each of the capacitors (C1, C2, ..., Cn), means (VE1, VE2, ..., VEn) for determining any deviation between the evaluated average charging voltage and the rated average charging voltage for each of the capacitors (C1, C2, ..., Cn), as well as complementary control means (MCC1, MCC2, ..., MCCn) for altering the converter control signals in such a way as to reduce said deviation.

(57) Abrégé

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 (VM01, VM02..., VMOn) de la tension moyenne aux bornes de 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 des signaux de commande du convertisseur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.



* (Voir la Gazette du PCT No. 06/1997, Section II)

**DISPOSITIF ELECTRONIQUE DE CONVERSION DE L'ENERGIE
ELECTRIQUE**

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 lcl), 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 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 convertisseur, les interrupteurs des cellules successives aient respectivement le même fonctionnement, mais décalé dans le temps de ladite fraction de période.

5 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
10 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
15 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
20 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
25 multiniveaux un convertisseur répondant à la description qui précède.

L'objet 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
30 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
35 référera à la figure 2 qui représente une cellule de commutation quelconque CL_k , avec ses interrupteurs T_k, T'_k ,

2189692

3

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
5 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 ;

b) un deuxième état où, T_k et T_{k+1} étant conducteurs,
10 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.
15 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+1}
20 égal à I à travers T'_{k+1} , 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 .

Les courants $I'_{ck} = I'_{k+1}$ et $I_{ck} = I_{k+1}$ apportent au
25 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
30 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
35 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 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 T1, T2, T3 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 nominalement nulle. On remarquera de plus que, lorsque les cellules imbriquées CL1-CL2 sont dans l'état d), les cellules imbriquées CL2-CL3 sont dans l'état c), de sorte que le condensateur C1 reçoit des charges additionnelles positives par le même courant qui fournit des charges additionnelles négatives au condensateur C2.

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 T1, T2, T3 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, 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 celle du fondamental de la tension de sortie.

5 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 varier. Cette variation ne sera négligeable que si la
10 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 strictement sinusoïdal, mais distordu de façon asymétrique.
15 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 les durées de conduction des interrupteurs sur une période
20 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 peut garantir en pratique, dans un convertisseur
25 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 de la charge d'un condensateur, donc de sa tension de charge
30 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 3, qui est semblable au tracé VI, à cela près que, le
35 condensateur C1 (figure 1) étant supposé chargé sous une tension plus faible que sa tension de charge nominale, au

lieu de fournir des impulsions vi_1 , vi_2 , vi_3 d'amplitude constante, le convertisseur fournit des impulsions telles que vi_1' d'amplitude réduite (l'échelle est exagérée pour une meilleure lisibilité), lorsque le condensateur C1
5 fournit à la source de courant C sa propre tension de charge, et des impulsions telles que vi_2' d'amplitude accrue, lorsque le condensateur C1 soustrait sa propre de tension de celle qui est fournie à la source de courant C, ainsi que des impulsions telles que vi_3' d'amplitude
10 inchangée, lorsque le condensateur C1 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
15 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
20 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.

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

Par ailleurs, ce processus spontané est mis en oeuvre via la source de courant. Il ne peut donc opérer lorsque la
30 source de courant n'impose pas de courant et, en tout cas, sera 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
35 assuré le maintien de la charge moyenne de chacun des condensateurs du convertisseur à sa valeur nominale.

La présente invention vise un convertisseur multi-niveaux 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 paire de pôles aval, la paire de pôles aval d'une cellule amont étant
10 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 de la paire de pôles aval de la cellule, ainsi que des moyens de commande
20 régissant le fonctionnement nominal du convertisseur en agissant sur les interrupteurs de 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
30 signaux de commande de cellules identiques mais décalés dans le temps d'une fraction ladite période, les

8a

interrupteurs de cellules successives aient respectivement le même fonctionnement, mais décalé dans le temps de ladite fraction de période, les condensateurs successifs (C1, C2..., Cn) 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 (VE) issue de ladite source de tension (SE), par l'inverse du nombre de cellules et par le rang de la cellule, caractérisé en ce qu'il comprend des
10 moyens d'évaluation (VMO1, VMO2..., VMO_n) de la tension moyenne aux bornes de 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..., MCC_n) modifiant la durée dudit premier état de conduction de la cellule associée audit condensateur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

20 De préférence, selon une forme de mise en oeuvre de l'invention, lesdits moyens de constatation d'écart comprennent chacun des moyens pour recevoir la valeur de la tension de la source de tension, une grandeur de modulation déterminant une forme d'onde de tension à appliquer à ladite source de courant, 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 condensateur du
30 convertisseur, par des moyens de comparaison soustrayant ladite tension moyenne évaluée aux bornes de chaque

8b

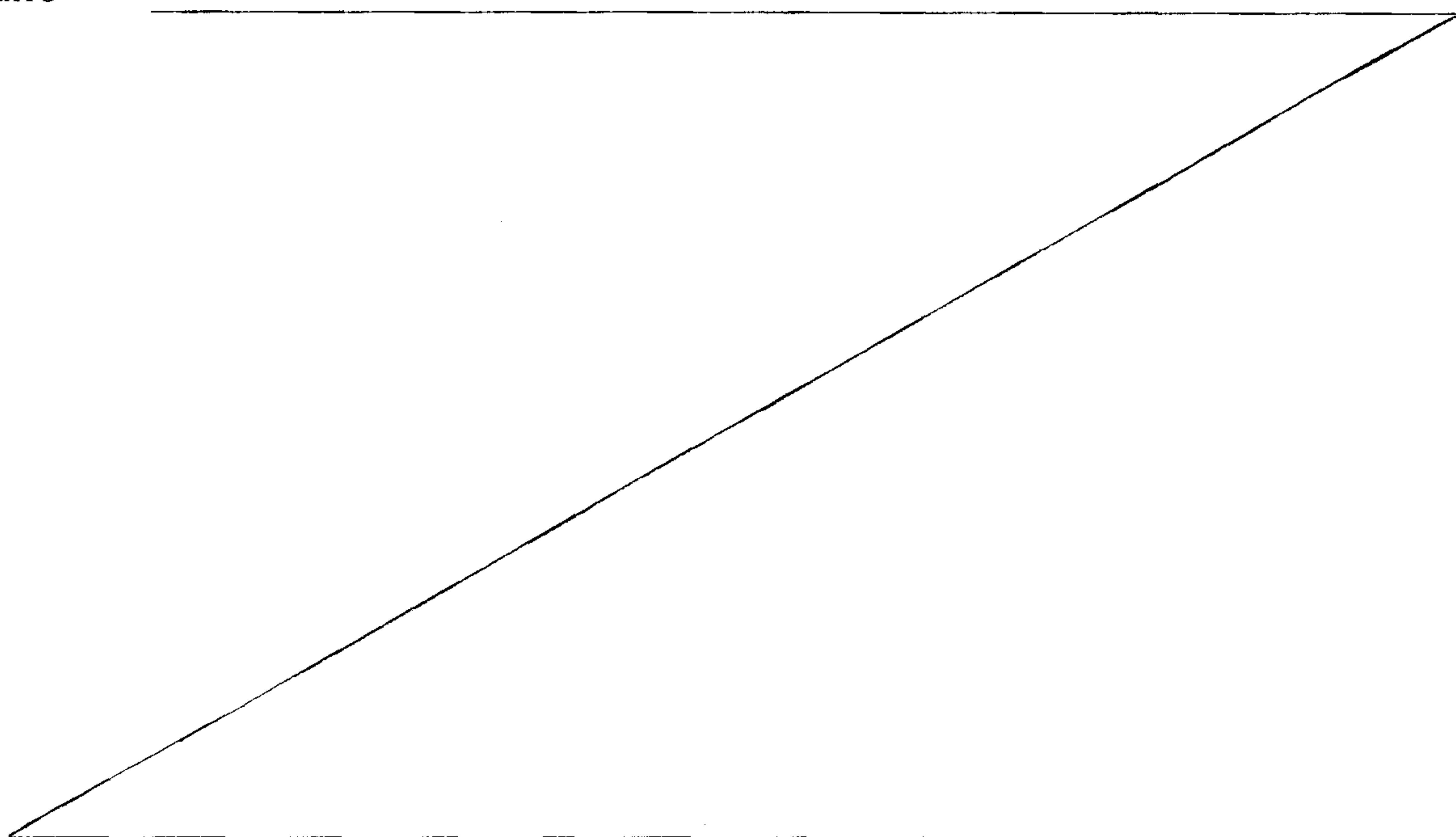
condensateur de ladite tension de charge nominale des condensateurs.

De préférence, selon une première forme de mise en oeuvre de l'invention, lesdits moyens d'évaluation de la tension aux bornes de chaque condensateur comprennent un réseau voltmétrique connecté entre les deux bornes du condensateur.

De préférence, selon une variante, 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.

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

De préférence, 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 calcule en conséquence une modification de la durée dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur telle qu'elle engendre dans ce condensateur une charge compensant ledit écart de charge.

De préférence encore, 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 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.

De préférence enfin, 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 durée dudit premier état de conduction de la cellule qui lui est associée, afin que ledit moyen de commande complémentaire considéré modifie en conséquence ladite durée 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.

Les différents objets et caractéristiques de la présente invention apparaîtront plus clairement dans la description qui va suivre de modes de mise oeuvre de 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 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,

5 - 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,

10 - la figure 5, des courbes 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,

- 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,

15 - la figure 7, un schéma de principe d'une variante d'une partie des moyens de la figure 4, correspondant au cas 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,
20 lorsqu'ils sont ouverts.

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
25 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 permettant d'évaluer la tension de charge moyenne de chacun
30 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.

35 A chacun des condensateurs est également associé, selon l'invention, un dispositif de constatation d'écart VE1,

VE2..., VEn 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.

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) 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 M du signal de modulation. Lesdits moyens complémentaires des modules de commande MCC1, MCC2..., MCCn apportent secondairement une modification à la longueur 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 apportent enfin, de préférence, une modification à la longueur 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 chaque module 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 n'existe pas, dans la mesure où il n'existe pas de module de commande MCCn+1. 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 allongera (ou raccourcira) les états "1" de l'interrupteur correspondant T1, T2..., Tn (voir figure 1). Cet allongement 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 condensateur qui est une constante câblée dans le module de commande.

15 Il dépendra en outre de l'allongement apporté à l'impulsion de commande voisine, en application de ce qui a été expliqué précédemment, à savoir que "le condensateur C1 reçoit des charges additionnelles positives par le même courant qui fournit des charges additionnelles négatives au condensateur C2". Donc, par exemple, l'allongement de l'impulsion de commande CT2, qui rend passant le commutateur T2, et qui charge négativement le condensateur C2, apporte une charge positive additionnelle indésirable au condensateur C1. Cet allongement additionnel est donc indiqué au module de commande MCC1 par le signal SM1 qui est utilisé pour corriger le signal de commande CT1 dans un sens tel que soit corrigée la charge positive additionnelle indésirable mentionnée.

20 25 30 35 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 deux cas de fonctionnement d'un ensemble de deux cellules imbriquées telles que celles de la figure 2, pour les sens de courant représentés sur cette figure 2 et représente la charge et la décharge d'un condensateur C_k , par les courbes I_k et V_k du courant dans le condensateur et de la tension à ses bornes. La figure 5 illustre de même le fonctionnement des interrupteurs T_k et T_{k+1} des cellules CL_k et CL_{k+1} .

Dans la période p_{c1} de fonctionnement du convertisseur, les impulsions nominales de fermeture des interrupteurs T_k et T_{k+1} se produisent successivement, sans recouvrement. L'impulsion T_k , comme on l'a expliqué précédemment, fournit une impulsion de courant I_d qui apporte une charge additionnelle négative au condensateur C_k , c'est-à-dire le décharge. Puis l'impulsion T_{k+1} fournit une impulsion de courant I_e qui lui apporte une charge additionnelle positive, c'est-à-dire le recharge. La tension V_k , initialement à un niveau e_{c1} , diminue pendant l'impulsion I_d , puis remonte pendant l'impulsion I_e , pour retrouver le même niveau e_{c1} .

On a illustré une modification de la longueur de l'impulsion nominale T_k , par allongement de cette impulsion d'un premier intervalle de correction itk_1 , puis d'un deuxième intervalle de correction itk_2 .

Dans la mesure où cet intervalle de correction itk_1 est plus court que le laps de temps entre les deux impulsions nominales T_k et T_{k+1} , l'effet est un allongement C'_{ck1} de la décharge du condensateur C_k , en vue de la correction de l'écart mesuré, que l'on suppose être une charge excessive du condensateur C_k . Il en résulte un allongement de la période de décharge et une réduction corrélative de la tension finalement observée aux bornes du condensateur C_k qui devient e_{c2} , tension inférieure à e_{c1} .

Si la correction s'étend aussi sur le deuxième intervalle de correction itk_2 , au point que l'impulsion T_k

allongée en vient à recouvrir partiellement au moins l'impulsion T_{k+1} , l'allongement de la décharge comprend toute la durée jusqu'au début de l'impulsion nominale T_{k+1} . Ensuite, les deux interrupteurs étant fermés ensemble, il se produit un raccourcissement C_{ck2} de la charge du condensateur C_k , du début de l'impulsion T_{k+1} , jusqu'au moment où l'impulsion T_k prolongée se termine. Par suite, la tension aux bornes du condensateur C_k devient e_{c3} , tension inférieure à e_{c2} . L'allongement de la décharge et le raccourcissement de la charge agissent donc l'un comme l'autre dans le sens d'une diminution de la charge excessive du condensateur C_k .

Bien entendu, les exemples que l'on vient de décrire n'ont qu'un but démonstratif. Les corrections apportées sont d'une amplitude très grande par rapport aux durées des impulsions nominales des interrupteurs, ce qui ne devrait pas se rencontrer en pratique. Ils ont toutefois permis de discerner clairement ce qui se passe dans le convertisseur, au cours de la correction d'écart de charge, lorsque la fin d'une impulsion nominale T_k d'une cellule CL_k s'approche du début de l'impulsion nominale T_{k+1} de la cellule suivante et qu'un allongement de l'impulsion nominale T_k ne l'amène pas, ou l'amène au contraire, à recouvrir partiellement au moins l'impulsion nominale T_{k+1} . On a pu vérifier que la correction opère dans les deux cas.

La figure 5 illustre également, dans une autre période pc_2 , le mécanisme d'une correction d'une charge excessive du condensateur C_k , dans le cas où les impulsions nominales T_k et T_{k+1} se recouvrent partiellement. Comme pour le couple itk_2/C_{ck2} que l'on vient d'examiner, le couple allongement itk_3 /raccourcissement C_{ck3} opère la correction désirée.

Il est facile de vérifier qu'une correction de sens opposée, la charge moyenne du condensateur C_k étant insuffisante, se traduit par une diminution de la durée de l'impulsion nominale T_k et apporte de même un accroissement de la charge du condensateur C_k .

Par ailleurs, et selon une variante, la correction des écarts de charge en question peut être prévue, dans un dispositif de commande centralisé réalisant les fonctions de tous les modules de commande MCC1, MCC2..., MCCn, ou dans un
5 dispositif réunissant tous les modules de 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,
10 ainsi que les corrections subséquentes correspondantes.

Dans un mode de réalisation simple, un tel dispositif maintiendrait le rapport cyclique du fonctionnement du premier étage d'interrupteurs, par exemple, et corrigerait tout écart observé par modification des rapports cycliques
15 des autres étages, selon ce qui précède. On peut tout aussi bien envisager de maintenir le rapport cyclique du fonctionnement du dernier étage.

Dans ces conditions, l'homme de métier comprendra aisément qu'il est possible, en apportant ainsi une
20 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 fournie à la source de courant restant constante et seule
25 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.

De la même façon, la modulation de la tension fournie
30 par le convertisseur à la source de courant peut être obtenue en modulant seulement la charge du condensateur de rang $n - 1$, le mécanisme de correction que l'on vient de décrire se chargeant ensuite d'aligner les charges des condensateurs de rangs $n - 2...$, 2, 1 comme il se doit.

35 Le dispositif décrit dans ce qui précède permet ainsi de moduler les durées de conduction des interrupteurs Tk

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 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 dispositif d'observation V_{M01} , V_{M02} ..., V_{M0n} , soit V_{M0k} 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 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_{kn} une valeur numérique de tension à un circuit de calcul de moyenne S_{Ck} , lequel est lu 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 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_{0k} du circuit S_{Ck} , une fois par cycle du convertisseur, au moment opportun pour déterminer, dans les modules de commande MMC_1 , MMC_2 ..., MMC_n , la modification décrite en relation avec la figure 4 de la durée 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.

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 VE de la source de tension, et la tension entre les bornes d'un des 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 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 CC , en 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 directement la tension VE , 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} ..., V_{On} de la figure 4.

Selon une autre variante, qui se déduit aisément de la 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 p_1 , voit apparaître des niveaux v_{i1} , v_{i2} , v_{i3} issus de chacun des condensateurs. L'homme de métier comprendra aisément comment on peut en dériver les signaux V_{O1} , V_{O2} ..., V_{On} de la figure 3 représentant la charge moyenne évaluée de chacun des condensateurs du convertisseur multiniveaux.

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

REVENDEICATIONS

1. Convertisseur multiniveaux comprenant notamment,
5 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
10 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 la paire de pôles amont d'une première
15 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
20 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
25 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
30 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 le temps d'une fraction de ladite période,
les interrupteurs des cellules successives aient
35 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-ment 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, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'évaluation ($V_{M01}, V_{M02}, \dots, V_{M0n}$) 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 durée dudit premier état de conduction de la cellule associée audit condensateur dans un sens tel que ledit écart constaté soit réduit.

2. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de constatation d'écart (VE_1, VE_2, \dots, VE_n) comprennent chacun des moyens pour recevoir la valeur de la tension (VE) de la source de tension (SE), le rang de l'étage (R) et le nombre d'étages (n), 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 (VE_1, VE_2, \dots, VE_n) 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.

3. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens d'évaluation (VM_1, VM_2, \dots, VM_n) de la tension aux bornes de chaque condensateur (C_1, C_2, \dots, C_n) comprennent un réseau voltmétrique (ptk_1, ptk_2) connecté entre les deux bornes du condensateur.

4. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens d'évaluation de la tension aux bornes de chaque condensateur comprennent un réseau voltmétrique (VIk) connecté entre les deux bornes d'un interrupteur (Tk) de chaque cellule et un circuit de calcul (CC) dérivant la tension aux bornes de chaque condensateur de la tension VE de la source de tension et des tensions évaluées aux bornes des interrupteurs séparant ce condensateur de la source de tension.

5. Convertisseur multiniveaux conforme à la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens d'évaluation de la tension aux bornes de chaque condensateur comprennent un réseau voltmétrique connecté à la source de courant pour déceler sur la tension de sortie les effets d'écarts de charge éventuels, ainsi qu'un dispositif de calcul contenant un modèle du convertisseur et permettant une évaluation de la tension au bornes de chacun des condensateurs.

6. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires (MCC1, MCC2..., MCCn) reçoit, outre ledit signal d'écart (VE1, VE2..., VEn), une mesure du courant I imposé par ladite source de courant et une constante exprimant la capacité d'une desdits condensateurs qui lui est associé, et calcule en conséquence une modification de la durée dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur telle qu'elle engendre dans ce condensateur une charge compensant ledit écart de charge.

7. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires (MCC1, MCC2..., MCCn) reçoit, outre ledit signal d'écart (VE1, VE2..., VEn), un signal de modulation M et modifie en conséquence la durée dudit premier état de conduction de la cellule associée à ce condensateur, de sorte que, tous

lesdits moyens de commande complémentaires agissant de même, ladite source de courant reçoit une tension moyenne modulée selon ledit signal de modulation.

8. Convertisseur multiniveaux conforme à l'une
5 quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chacun desdits moyens de commande complémentaires (MCC1, MCC2..., MCCn) reçoit d'un moyen de commande complémentaire voisin un signal de modification (SM1, SM2..., SMn) établi
10 dans ce dernier et définissant une modification que ce moyen de commande complémentaire voisin apporte à ladite durée dudit premier état de conduction de la cellule qui lui est associée, afin que ledit moyen de commande complémentaire considéré modifie en conséquence ladite durée dudit premier
15 de conduction de la cellule qui lui est propre, dans un sens qui compense sur le condensateur associé à cette dernière cellule l'effet de ladite modification apportée dans la cellule voisine.

1/4

FIG.1 (ART ANTERIEUR)

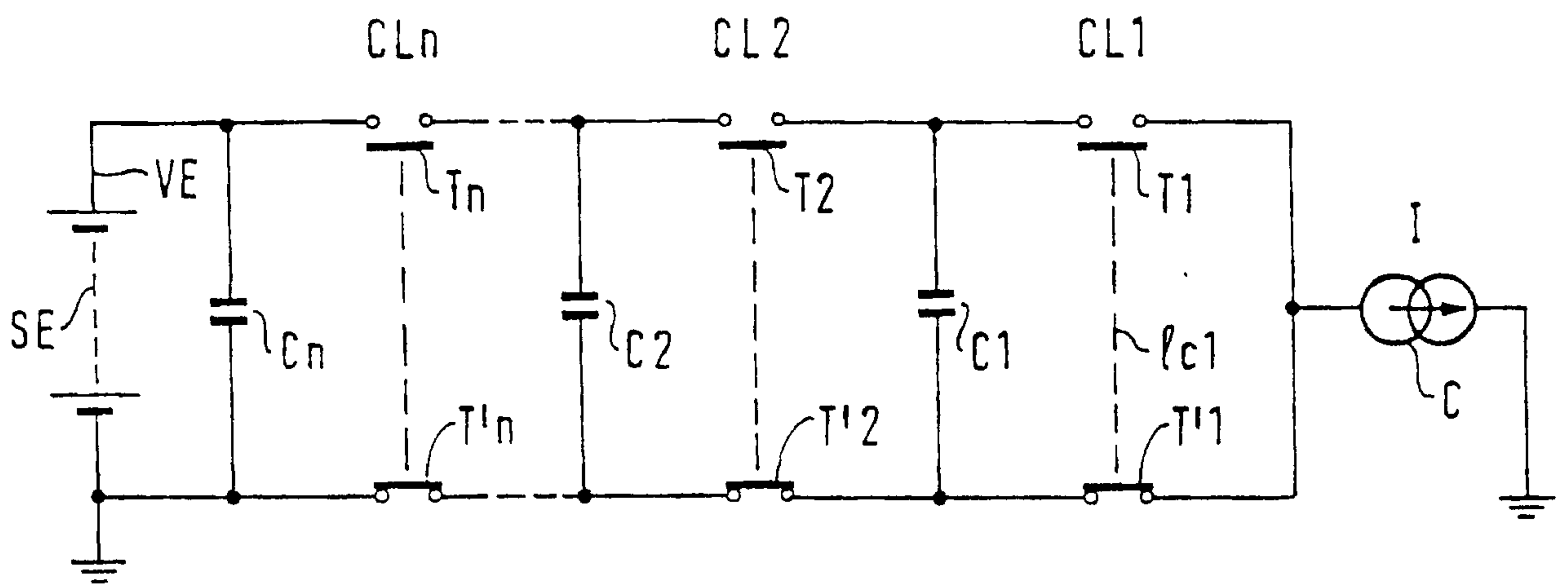
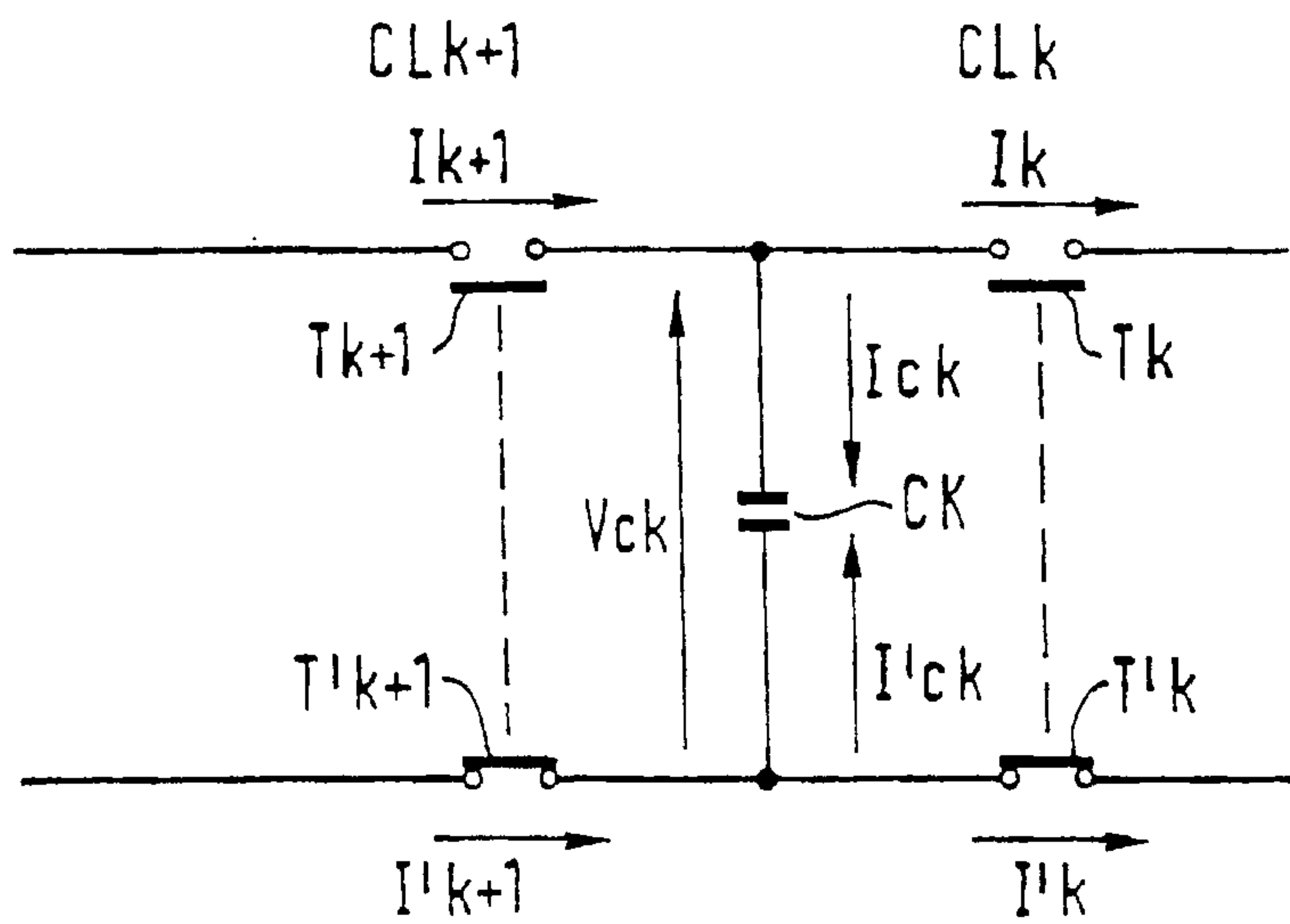
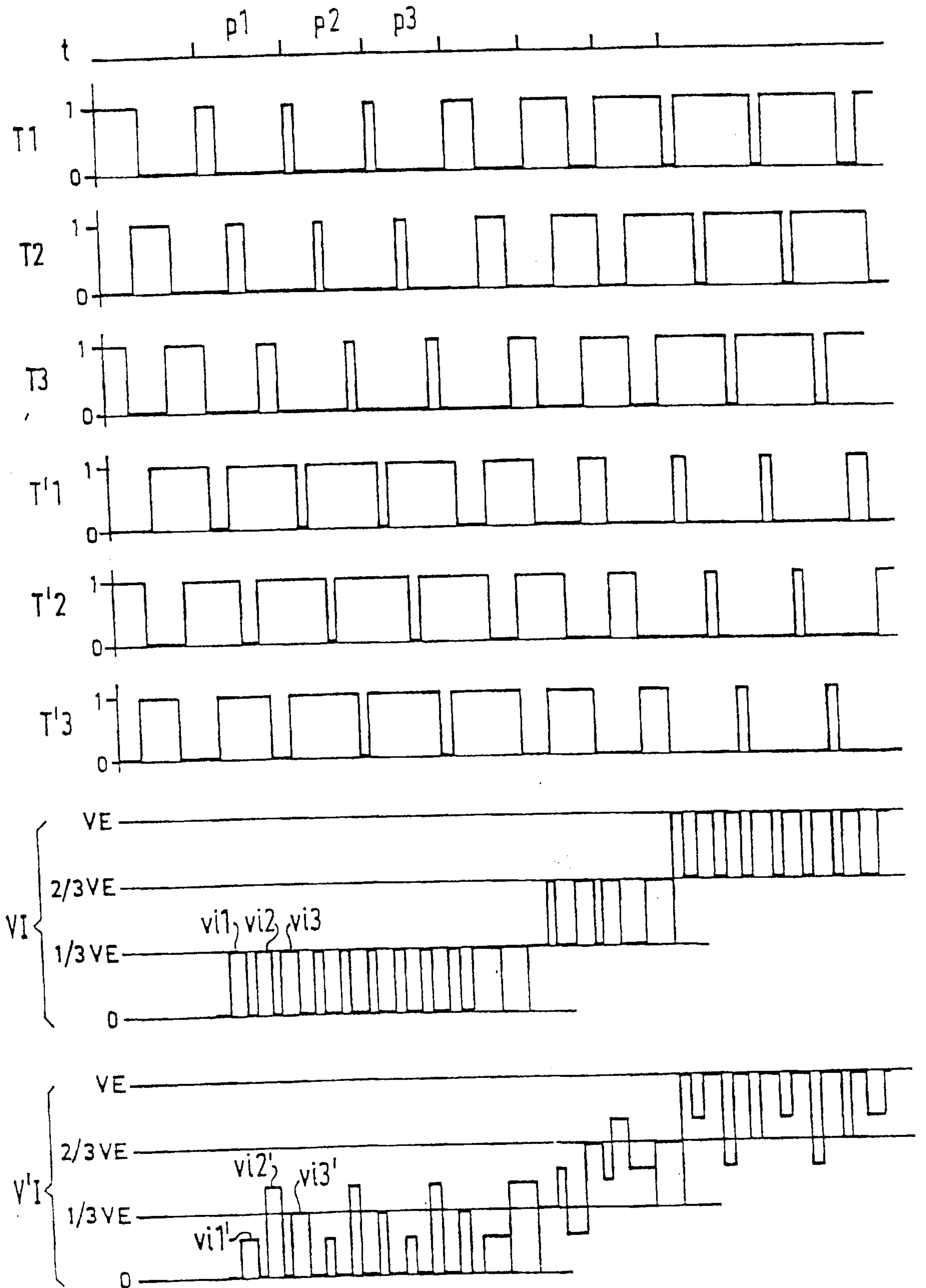


FIG.2 (ART ANTERIEUR)



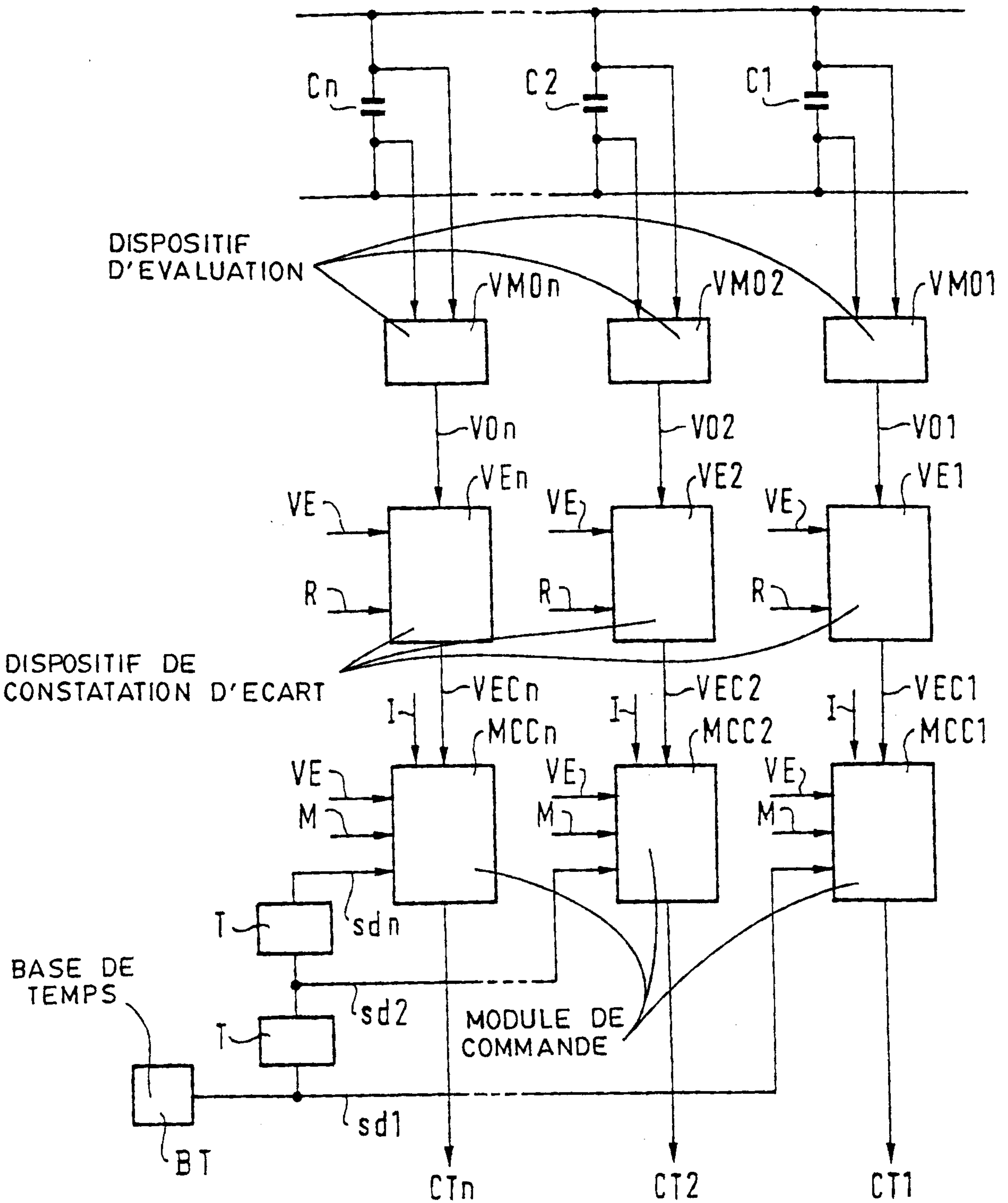
2/4

FIG. 3 (ART ANTERIEUR)



3/4

FIG. 4



4/4

FIG.5

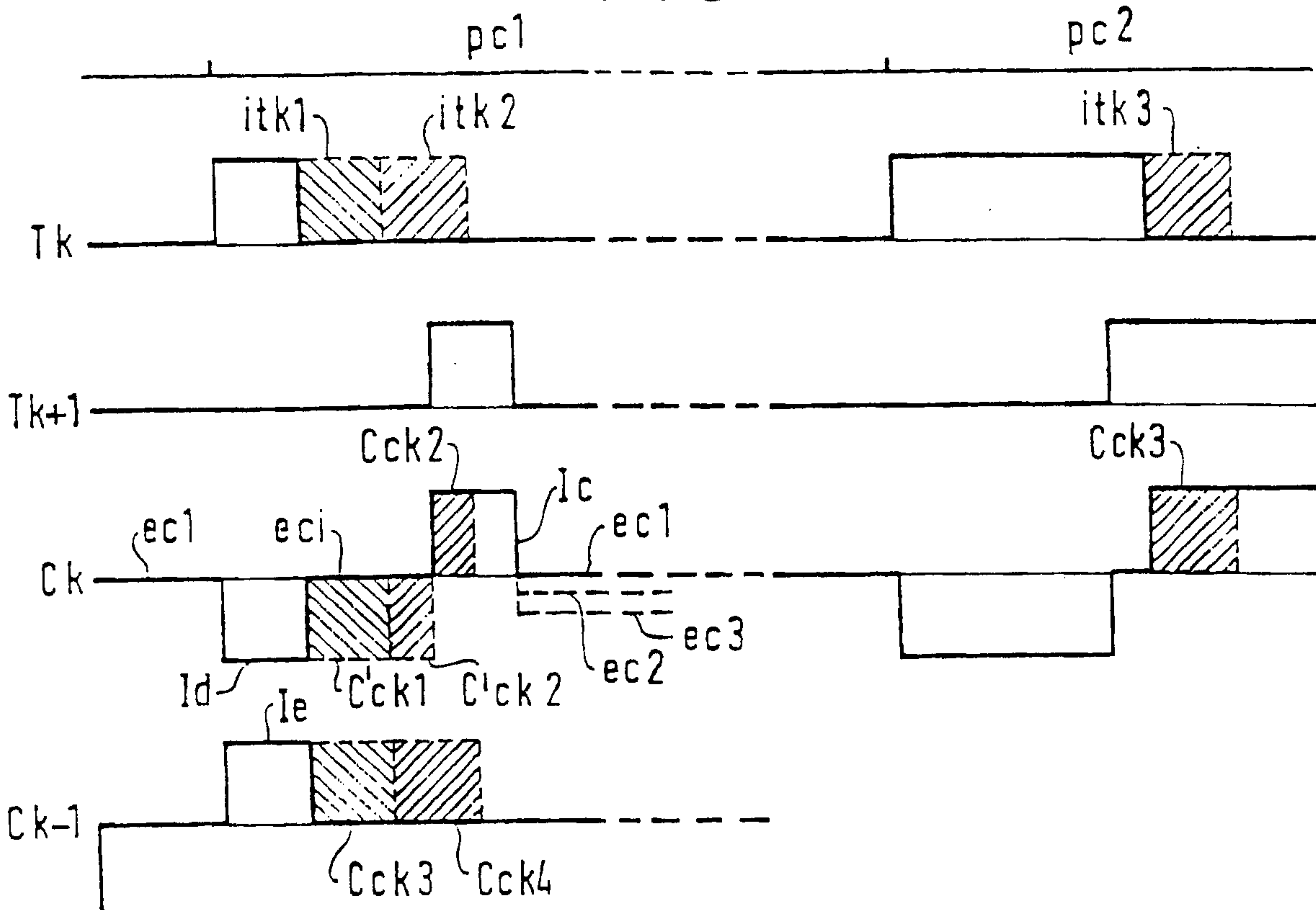


FIG.6

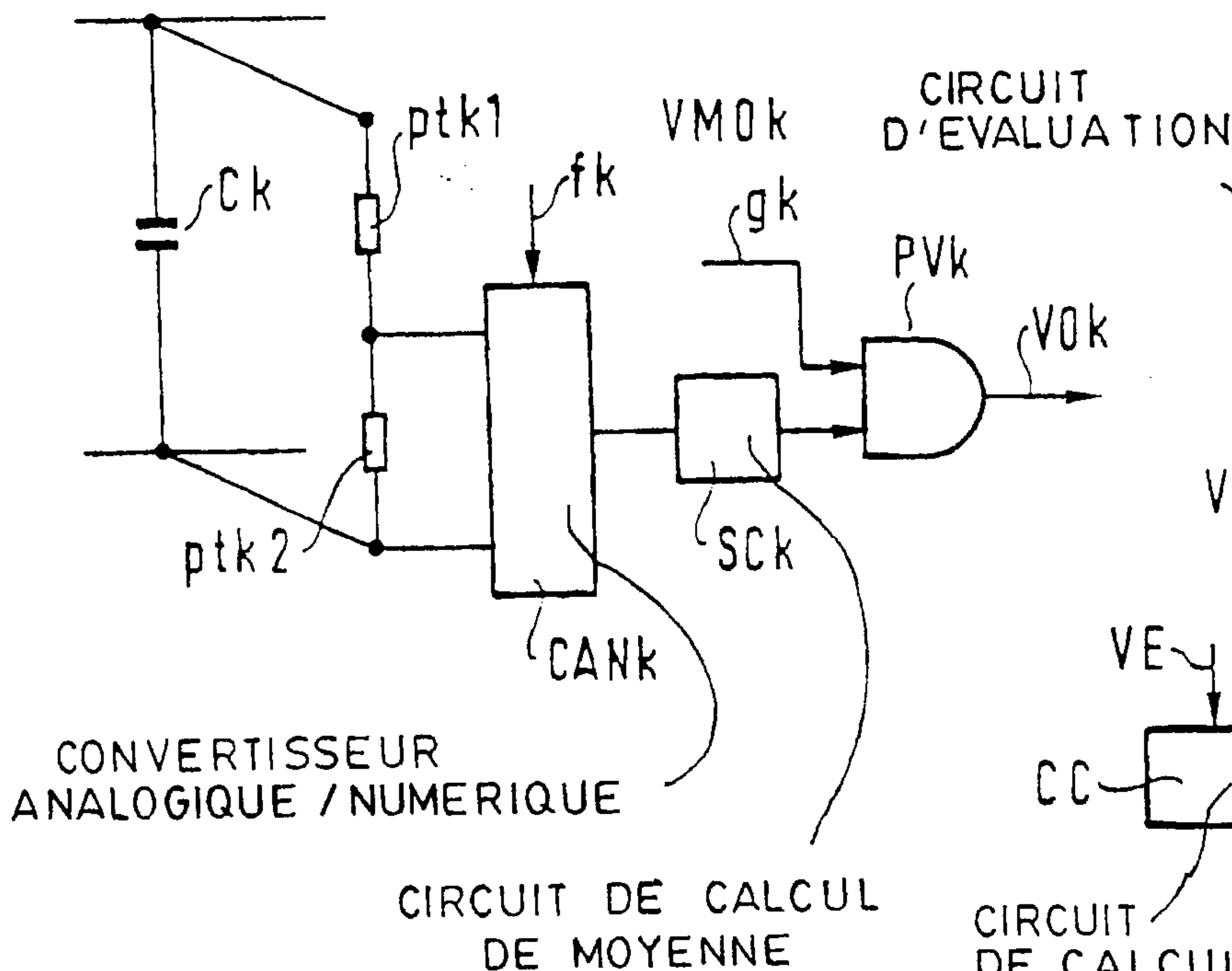


FIG.7

