

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

2 465 360

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 22829

(54) Procédé de commande d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension et dispositif de régulation mettant en œuvre ledit procédé.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). H 02 P 13/18; H 02 H 7/127; H 02 J 3/36.

(22) Date de dépôt 12 septembre 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 12 du 20-3-1979.

(71) Déposant : NAUCHNO-ISSLEDOVATELSKY INSTITUT POSTOYANNOGO TOKA, résidant en URSS.

(72) Invention de : Valery Arkadievich Andronov, Alexandr Izrailovich Boyarsky, Viktor Ivanovich Emelyanov et Iosif Borisovich Nabutovsky.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne le transport d'énergie électrique et a notamment pour objets un procédé de commande d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, et un dispositif de régulation pour la mise en oeuvre dudit procédé.

5 L'invention peut être utilisée pour la protection des valves réglables ou commandées constituant les convertisseurs des réseaux de transport d'énergie à courant continu haute tension, en cas d'accident. Elle trouve une application particulièrement avantageuse dans la protection, en cas d'accident, des valves réglables des convertisseurs faisant partie des
10 sous-stations à redresseurs et onduleurs utilisées pour relier entre eux des réseaux d'énergie fonctionnant à des fréquences différentes.

Un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comporte généralement des redresseurs polyphasés en pont à valves réglables ou commandées, branchés côté transmetteur du réseau, ainsi que des onduleurs
15 polyphasés en pont à valves réglables ou commandées, situés côté récepteur.

Dans un tel réseau de transport d'énergie, une situation accidentelle a lieu habituellement à la suite d'une perturbation dans la succession normale des commutations des valves réglables. Une telle perturbation se produit soit en cas d'amorçage prématuré de la valve, y compris en cas de
20 claquage de la valve dans le sens direct ou de son réallumage immédiatement après l'extinction, soit, au contraire, en cas de manque d'allumage de la valve. De tels accidents sont ordinairement les causes de courts-circuits, dans le montage des convertisseurs, par les valves d'une même phase, ce qui provoque l'accroissement de l'intensité du courant redressé, c'est-à-dire du
25 courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, et l'augmentation du laps de temps durant lequel le courant traverse les valves. Ceci mène, à son tour, à une surchauffe des valves avec un risque de leur mise hors service, ainsi qu'à une réduction brusque de la puissance transmise à travers le réseau d'énergie. Par ailleurs, cet accroissement du courant redressé rend
30 plus probable la diminution des angles marginaux dans les autres valves réglables du pont où s'est produit le court-circuit, ainsi que dans les valves réglables des autres ponts. On entend ici par "angle marginal" le laps de temps, mesuré en degrés électriques, entre l'instant où le courant traversant la valve tombe jusqu'à zéro, c'est-à-dire l'instant de l'extinction de la
35 valve, et l'instant où le potentiel de l'anode de la valve devient supérieur à celui de sa cathode. Une telle diminution des angles marginaux a lieu du fait

de l'augmentation des angles de commutation dans les valves de l'onduleur lors de l'accroissement du courant redressé. L'angle de commutation est le laps de temps, mesuré en degrés électriques, durant lequel le courant traversant la valve tombe jusqu'à zéro après l'application d'une impulsion d'amorçage à la valve suivante du même groupe du pont, selon l'ordre de succession adopté. S'il y a une diminution excessive de l'angle marginal de la valve, cette dernière n'aura pas le temps de se désioniser complètement durant le laps de temps entre l'instant d'extinction et l'instant où le potentiel de son anode devient supérieur à celui de sa cathode, et elle restera donc à l'état amorcé. Il y aura par conséquent une perturbation ultérieure dans la succession des commutations des valves, ce qui, à son tour, rend encore plus probable la diminution des angles marginaux des autres valves et, par conséquent, l'aggravation ultérieure de la situation.

En général, un réseau d'énergie branché côté onduleur présente une résistance interne importante. Dans ce cas, un accroissement du courant redressé dû à la perturbation dans la succession des commutations des valves donne naissance à des distorsions de la tension alternative à la sortie de l'onduleur, ce qui augmente davantage la probabilité d'une diminution des angles marginaux des valves et, donc, celle d'une aggravation ultérieure de la situation.

On connaît un procédé pour commander un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, qui permet d'atténuer les conséquences nuisibles des perturbations dans la succession des commutations des valves, et suivant lequel, en cas de manque d'allumage de l'une des valves de l'onduleur, s'opère un amorçage anticipé de la valve suivante du même groupe de valves dans le pont (voir, par exemple, l'article "Zachtchita elektropere-datchi postofannogo toka" (Protection pour le transport d'énergie à courant continu) par B.S.Melik-Sarkissov publié dans la revue "Izvestia nauchno-issledovatel'skogo instituta postofannogo toka", fascicule n°2, 1957, pp.84-95). Un tel amorçage anticipé de la valve suivante de l'onduleur permet à la valve passante du même groupe de s'éteindre à temps, en évitant ainsi tout court-circuit dans le montage de l'onduleur.

Toutefois, un tel amorçage anticipé de la valve implique une variation (augmentation) brutale de l'angle d'amorçage de la soupape, ou, en d'autres termes, du laps de temps, mesuré en degrés électriques, entre l'instant où le potentiel de l'anode de la valve devient supérieur à celui de sa cathode et l'instant d'application de l'impulsion d'amorçage. Cette variation brutale

de l'angle d'amorçage cause une baisse de la tension continue aux bornes de l'onduleur et un accroissement notable du courant redressé, ce qui rend plus probable, comme il a été déjà dit, la diminution des angles marginaux des autres valves de l'onduleur, avec une aggravation résultante de la situation.

En outre, le procédé décrit n'offre aucune protection des valves de l'onduleur en cas de perturbations dans la succession des commutations de ces valves, dues à un allumage intempestif d'une valve.

On connaît également un procédé pour commander un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, consistant à maintenir le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur à un niveau prédéterminé, moyennant la régulation des angles d'amorçage des valves de l'onduleur (voir, par exemple, le certificat d'auteur U.R.S.S. n°466 822). Cependant, ici encore, une variation brutale des angles d'amorçage des valves de l'onduleur conduit, pour les raisons évoquées ci-dessus, à une augmentation de la probabilité d'un développement ultérieur du processus préjudiciable. D'autre part, une régulation des angles d'amorçage des valves de l'onduleur avec un retard temporel par rapport à la variation des angles marginaux s'avère elle aussi inutile, car alors la variation des angles d'amorçage survient trop tard pour qu'on puisse éviter le déclenchement du processus indésirable.

On connaît enfin un procédé pour commander un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, comportant un redresseur à valves réglables branché côté transmetteur du réseau et un onduleur à valves réglables branché côté récepteur, qui consiste à maintenir le courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur en correspondance avec sa valeur prédéterminée grâce à la régulation des angles d'amorçage du redresseur, et à réduire la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur dans le cas où l'un au moins des paramètres ci-dessous, représentatifs de l'état du réseau de transport d'énergie, sort des limites fixées : courant redressé ou tension redressée, courant alternatif ou tension alternative ou bien leurs dérivées temporelles, fréquence du courant alternatif ou de la tension alternative, facteur de puissance (voir par exemple, la demande de brevet publiée R.F.A. n°1 943 646). Suivant ce procédé, en cas de court-circuit dans l'une quelconque des phases de l'onduleur, on procède à la diminution de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le

redresseur jusqu'à l'onduleur. Cette diminution de la valeur prédéterminée du courant redressé assure la régulation des angles d'amorçage des valves du redresseur, qui empêche l'accroissement du courant redressé et, donc, la diminution des angles marginaux des valves de l'onduleur en réduisant ainsi la probabilité d'une aggravation ultérieure de la situation.

Malheureusement, ladite diminution de la valeur prédéterminée du courant redressé n'a lieu dans ce procédé qu'à la fin d'un certain laps de temps après l'instant où le court-circuit s'est produit. Mais on risque de voir la succession normale des commutations des autres valves se déranger pendant ce même laps de temps, ce qui pourrait déclencher l'accident avant même la variation des angles d'amorçage des valves du redresseur.

En outre il se produit durant ce laps de temps une réduction brusque de la puissance dans le réseau de transport d'énergie, ce qui exerce une influence nuisible sur les conditions de travail des consommateurs d'énergie électrique.

L'écart subi par les paramètres du réseau de transport d'énergie mentionnés plus haut peut être dû également à des perturbations de la commutation dans le redresseur du genre de celles qui provoquent l'abaissement du courant redressé. Dans ce cas, une diminution ultérieure du courant redressé dans le cadre de l'application du procédé connu signifierait l'impossibilité de transmettre, à travers le réseau, la puissance requise, ce qui affecterait les conditions de fonctionnement des consommateurs d'énergie.

Il est connu un dispositif de régulation servant à commander un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, composé d'un redresseur à valves réglables branché côté transmetteur du réseau et d'un onduleur branché côté récepteur, ce dispositif comportant un organe de commande des angles d'amorçage des valves du redresseur, un transducteur du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, un circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, et un circuit de comparaison dont la sortie est reliée à l'organe de commande des angles d'amorçage des valves du redresseur et dont les entrées sont connectées respectivement au transducteur de courant et à la sortie du circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant, dispositif dans lequel ledit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant comprend un organe de commutation dont la sortie est couplée à l'entrée du circuit de comparaison connectée au circuit formateur de la valeur prédéterminée

du courant, et à l'une des entrées duquel est appliqué un signal correspondant à une intensité du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur qui assurerait le transfert de la puissance requise du redresseur à l'onduleur, et un dispositif de commande par programme dont la sortie est
5 reliée à l'autre entrée de l'organe de commutation en vue de commuter cet organe de commutation et d'appliquer à l'entrée du circuit de comparaison connectée au circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant, un signal assurant la diminution de la valeur prédéterminée du courant lorsque l'un des paramètres indicatifs de l'état du réseau de transport d'énergie,
10 et notamment le courant redressé ou la tension redressée, le courant alternatif ou la tension alternative, ou bien leur dérivées temporelles, la fréquence du courant alternatif ou de la tension alternative, ou encore le facteur de puissance, sort des limites fixées (voir la demande de brevet R.F.A. n° 1 943 646 déjà citée).

15 Le dispositif qui vient d'être décrit présente les mêmes inconvénients que le procédé correspondant.

On s'est proposé, en conséquence, de mettre au point un procédé pour commander un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension et un dispositif de régulation pour mettre en oeuvre ce procédé, qui
20 permettraient d'exercer sur les angles d'amorçage des valves dans les convertisseurs faisant partie du réseau de transport d'énergie, une action s'opposant à toute perturbation dans la succession des commutations des valves de l'onduleur et assurant une réponse rapide à une telle perturbation dans la succession des commutations des valves de l'onduleur et, éventuelle-
25 ment, à des conditions susceptibles de provoquer une telle perturbation, avant même que cette perturbation ne se produise réellement.

Ce problème est résolu du fait que le procédé de commande d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comportant un redresseur à valves électroniques réglables ou commandées branché côté
30 transmetteur du réseau et un onduleur à valves électroniques réglables ou commandées branché côté récepteur du réseau, du type consistant à maintenir le courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur en correspondance avec une valeur prédéterminée dudit courant, par régulation des angles d'amorçage des valves du redresseur, et à faire varier cette valeur
35 prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, est caractérisé, suivant l'invention, en ce que lorsque la valeur du plus

petit des angles marginaux dans les valves de l'onduleur tombe en dessous d'une valeur préalablement fixée, on fait varier la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur à l'onduleur en correspondance avec la différence entre ladite valeur préalablement fixée et le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, et de façon à diminuer la valeur prédéterminée du courant allant du redresseur à l'onduleur en cas d'augmentation de ladite différence entre ladite valeur préalablement fixée et le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, ou, au contraire, à augmenter la valeur prédéterminée du courant allant du redresseur à l'onduleur en cas de diminution de la différence entre ladite valeur préalablement fixée et le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, ladite valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur étant établie égale ou supérieure à la valeur minimale admissible du courant allant du redresseur à l'onduleur.

Dans le procédé proposé, l'abaissement de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur s'opère immédiatement après le moment où l'on se trouve en possession de l'information indiquant une diminution inadmissible de l'angle marginal dans l'une quelconque des valves de l'onduleur. En cas de perturbation dans la succession des commutations des valves de l'onduleur, cet abaissement de la valeur prédéterminée du courant redressé se fait immédiatement après le moment où le potentiel de l'anode de la valve devient supérieur à celui de sa cathode, alors que la valve continue d'être parcourue par le courant. Ceci permet une action rapide sur les angles d'amorçage des valves du redresseur qui s'oppose à la croissance du courant redressé et à la diminution des angles marginaux des autres valves de l'onduleur, ce qui rend moins probable une aggravation ultérieure de la situation et permet de réduire le temps pendant lequel on observe la réduction brusque de la puissance. Dans certains cas, la diminution de la valeur prédéterminée du courant redressé selon le procédé proposé a lieu avant même la perturbation dans la succession des commutations des valves de l'onduleur, si l'angle marginal de l'une des valves de l'onduleur devient trop petit et s'il apparaît un risque réel de court-circuit, grâce à quoi on réussit à réduire la probabilité d'un accident. Le procédé proposé prévoit la diminution de la valeur prédéterminée du courant redressé en fonction de l'angle marginal des valves de l'onduleur. C'est pour cette raison que les perturbations éventuelles de la commutation des valves du redresseur ne provoquent pas

nécessairement une réduction du courant redressé et de la puissance transmise, ce qui assure l'amélioration des conditions de travail des consommateurs d'énergie.

5 Quant à la nécessité de maintenir la valeur prédéterminée du courant redressé à un niveau qui ne soit pas plus bas que la valeur minimale admissible, elle s'explique par le fait que, si l'intensité de courant était trop faible, l'amorçage des valves de l'onduleur deviendrait peu sûr.

10 Il y a intérêt à ce que, quand le plus petit des angles marginaux dans les valves de l'onduleur atteint sa valeur minimale admissible, la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur soit établie égale à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur. Ceci permet une opposition maximale à l'accroissement du courant redressé lorsque l'angle marginal de l'une des valves de l'onduleur diminue à tel point que la probabilité de
15 manque de temps pour la déionisation de la valve devient voisine de l'unité.

Le but exposé plus haut est également atteint grâce à un dispositif de commande d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comportant un redresseur à valves réglables ou commandées branché côté transmetteur du réseau et un onduleur à valves réglables ou commandées
20 branché côté récepteur du réseau, ledit dispositif étant du type comprenant un organe de commande des angles d'amorçage des valves du redresseur, un transducteur du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, un circuit formateur d'une valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, et un circuit de comparaison dont la
25 sortie est reliée à l'organe de commande des angles d'amorçage des valves du redresseur et dont les entrées sont connectées respectivement au transducteur du courant et à la sortie du circuit formateur de ladite valeur prédéterminée du courant, et étant caractérisé, suivant l'invention, en ce qu'il comprend en outre un circuit de mesure pour la formation d'un
30 signal correspondant au plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, et que ledit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant comprend un circuit de soustraction dont l'une des entrées est reliée à la sortie d'un circuit de mesure et dont l'autre entrée est attaquée par un signal correspondant à une valeur préalablement fixée de l'angle
35 marginal, un limiteur qui sert à empêcher le passage du signal lorsque le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur dépasse ladite

valeur préalablement fixée, et dont l'entrée est reliée à la sortie du circuit de soustraction, un deuxième circuit de soustraction dont l'une des entrées est reliée à la sortie du limiteur et dont l'autre entrée est attaquée par un signal correspondant à un courant, entre le redresseur et l'onduleur, dont l'intensité assure le transfert de la puissance requise depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, et un écrêteur de base dont l'entrée est connectée à la sortie dudit deuxième circuit de soustraction et dont la sortie constitue la sortie du circuit formateur de ladite valeur prédéterminée du courant, ledit écrêteur servant à limiter la valeur minimale du signal prélevé sur la sortie du circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant et appliqué à l'entrée du circuit de comparaison, à un niveau correspondant à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur.

Afin d'assurer un abaissement maximal du courant redressé dans le cas où le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur atteint sa valeur minimale admissible, ledit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant peut comprendre un circuit sensible au signe de la différence entre les signaux, dont l'une des entrées est reliée à la sortie du circuit de mesure et dont l'autre entrée est attaquée par un signal correspondant à la valeur minimale admissible du plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, et un circuit sélectif inséré entre l'entrée de l'écrêteur de base et la sortie du deuxième circuit de soustraction de telle sorte que l'une des entrées dudit circuit sélectif soit couplée à la sortie dudit deuxième circuit de soustraction, l'autre entrée dudit circuit sélectif étant couplée à la sortie dudit circuit sensible et la sortie du circuit sélectif étant couplée à l'entrée de l'écrêteur de base, ledit circuit sélectif étant destiné à appliquer à l'entrée de l'écrêteur de base un signal recueilli à la sortie du deuxième circuit de soustraction, quand le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur est supérieur à sa valeur minimale admissible, et à appliquer à l'entrée de ce même écrêteur de base un signal qui déterminera l'apparition à sa sortie d'un signal correspondant à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur quand le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur est inférieur à sa valeur minimale admissible.

Ainsi, la présente invention rend moins probable la naissance et le

développement d'une situation accidentelle au cours du fonctionnement d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comportant un redresseur à valves réglables branché côté transmetteur du réseau et un onduleur à valves réglables branché côté récepteur du réseau, et permet une
5 amélioration des conditions de travail des consommateurs d'énergie électrique en cas de réduction brusque de la puissance ou de perturbation dans la succession normale des commutations des valves du redresseur.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative
10 qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs avec références aux dessins non limitatifs annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente les courbes illustrant la variation de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à
15 l'onduleur dans un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, en fonction du plus petit des angles marginaux des soupapes de l'onduleur ;

- la figure 2 est un schéma fonctionnel du réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension selon l'invention ;

20 - les figures 3a et 3e représentent les graphiques des courants et des tensions en divers points du pont onduleur faisant partie du réseau de transport d'énergie représenté sur la figure 2.

La commande du réseau de transport d'énergie suivant la présente invention s'effectue de la manière suivante.

25 Au cours du transfert de l'énergie électrique à travers le réseau, on procède à la mesure de la plus faible des valeurs prises par les angles marginaux dans les valves de l'onduleur durant chaque période. Ensuite on règle la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur branché côté transmetteur du réseau jusqu'à l'onduleur situé côté récepteur,
30 en correspondance avec la valeur mesurée de l'angle, et l'on maintient le courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur en correspondance avec ladite valeur prédéterminée par variation appropriée des angles d'amorçage des valves du redresseur.

La courbe 1 de la figure 1 représente la variation de la valeur
35 prédéterminée I_d du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur en fonction de l'angle δ qui est le plus petit des angles marginaux des

valves de l'onduleur. Si les angles marginaux de toutes les valves de l'onduleur dépassent une certaine valeur φ_0 préalablement fixée, le courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur est maintenu en correspondance avec sa valeur prédéterminée I_{d_0} qui assure le transfert de la puissance requise du redresseur à l'onduleur (tronçon 2 de la courbe 1). La valeur φ_0 est choisie suivant la probabilité maximale admissible du cas où la valve de l'onduleur n'aurait pas le temps d'être déionisée et, par conséquent, resterait conductrice. Pour des thyristors haute tension, cette valeur de φ_0 est d'environ 13° pour une probabilité de non-extinction de la valve égale à environ 40%.

Si l'angle marginal de l'une quelconque des valves de l'onduleur devient inférieur à la valeur φ_0 , par exemple à la suite d'une chute de tension dans le réseau d'énergie récepteur, d'une charge supplémentaire branchée sur l'onduleur ou d'un court-circuit des valves dans l'une des phases de l'onduleur, on réduit la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur proportionnellement à l'augmentation de la différence entre le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur et la valeur φ_0 . Autrement dit, plus la valeur prise par le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur (tronçon 3 de la courbe 1) est petite, plus la réduction de la valeur prédéterminée du courant est importante. La diminution du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur conduit à une réduction des angles de commutation des valves de l'onduleur et, par conséquent, à une augmentation de leurs angles marginaux. Cela rend moins probable un court-circuit dans le montage de l'onduleur ou bien une aggravation de la situation accidentelle, si un tel court-circuit s'est déjà produit.

Au fur et à mesure que les angles marginaux des valves de l'onduleur décroissent, on abaisse la valeur prédéterminée du courant jusqu'à ce que, pour une certaine valeur φ_1 du plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, elle atteigne le niveau de la valeur minimale admissible $I_{d_{\min}}$ du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, en dessous duquel l'amorçage des valves du redresseur et de l'onduleur devient problématique (tronçon 3 de la courbe 1 et son prolongement en trait tireté).

Lors de l'augmentation ultérieure du plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, c'est-à-dire lors de la diminution de la différence entre le plus petit des angles marginaux et l'angle φ_0 , on augmente la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur

jusqu'à l'onduleur proportionnellement à la diminution de ladite différence, comme le montre le tronçon 3 de la courbe 1. A mesure de l'augmentation ultérieure du plus petit des angles marginaux jusqu'à la valeur δ_0 , la valeur prédéterminée du courant est réglée de nouveau sur I_{d_0} .

5 Suivant un autre mode de réalisation de l'invention, la diminution de la valeur prédéterminée du courant avec la diminution du plus petit des angles marginaux s'effectue elle aussi dans les limites de I_{d_0} à $I_{d_{\min}}$, mais ici, lorsque le plus petit des angles marginaux atteint sa valeur minimale admissible $\delta_{\min}$, on établit la valeur prédéterminée du courant
10 égale à $I_{d_{\min}}$, après quoi, lors de la diminution ultérieure du plus petit des angles marginaux, la valeur prédéterminée du courant reste au niveau de $I_{d_{\min}}$ (tronçon 4 de la courbe 1). La valeur $\delta_{\min}$ est dans ce cas choisie de façon à ce qu'on puisse s'attendre avec un grand degré de probabilité à ce que la valve n'ait pas le temps de se déioniser et qu'elle reste
15 conductrice malgré l'amorçage d'une autre valve du même groupe. Pour des thyristors à haute tension, l'angle $\delta_{\min}$ est d'environ 4° , avec une probabilité de non-extinction de la valve égale à environ 90%. Ceci permet de réduire au maximum la valeur prédéterminée du courant quand un court-circuit dans les circuits de l'onduleur est pratiquement inévitable.

20 En cas de variation de la valeur requise de la puissance transmise du redresseur à l'onduleur, la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur varie elle aussi. La variation de la valeur prédéterminée du courant dans les conditions d'une diminution de la valeur requise de la puissance transférée, à laquelle correspond une
25 valeur prédéterminée du courant I'_{d_0} inférieure à I_{d_0} , est illustrée à l'aide de la courbe 5. Comme le montre la courbe 5, lorsque le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur diminue en dessous de la valeur δ_0 , la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur est diminuée proportionnellement à l'augmenta-
30 tion de la différence entre le plus petit des angles marginaux et la valeur δ_0 (tronçon 3' de la courbe 5). Lors de la diminution ultérieure du plus petit des angles marginaux, on abaisse la valeur prédéterminée du courant jusqu'à ce qu'elle atteigne le niveau de $I_{d_{\min}}$ correspondant à la valeur δ'_1 du plus petit des angles marginaux, après quoi, si le plus petit
35 des angles marginaux continue de diminuer en dessous de δ'_1 , la valeur prédéterminée du courant reste égale à $I_{d_{\min}}$. Quand les angles marginaux

des valves de l'onduleur croissent au-dessus de $\mathcal{S}'_1$, on augmente aussi la valeur prédéterminée du courant suivant le tronçon 3' de la courbe 5. Aussitôt que le plus petit des angles marginaux atteint la valeur $\mathcal{S}_0$, la valeur prédéterminée du courant est réglée à $I'd_0$ et, dans le cas d'une augmentation ultérieure des angles marginaux, cette valeur prédéterminée du courant reste inchangée (tronçon 2' de la courbe 5).

La figure 2 montre le schéma fonctionnel d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comportant un dispositif de régulation assurant la variation de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, conformément au procédé qui vient d'être décrit. Comme on peut le voir, le réseau de transport d'énergie comprend un redresseur 6 constitué de deux ponts redresseurs 7 à thyristors, situés à l'extrémité transmettrice du réseau de transport d'énergie. Les ponts redresseurs 7 sont alimentés en courant alternatif triphasé à partir des barres 8 par l'intermédiaire d'un transformateur triphasé 9. La tension redressée prélevée sur la sortie des ponts 7 est appliquée, à travers des selfs d'aplatissement 10 et 11, à un onduleur 12 constitué de deux ponts onduleurs 13 à thyristors, situés à l'extrémité réceptrice du réseau de transport d'énergie. La tension alternative triphasée invertie dans les ponts 13 est appliquée aux barres 15 par l'intermédiaire d'un transformateur triphasé 14. Les gâchettes des thyristors constituant les ponts redresseurs 7 sont reliées aux sorties correspondantes d'un organe 16 de commande des angles d'amorçage des thyristors des ponts redresseurs 7. Lesdits angles d'amorçage sont établis en conformité avec la valeur du signal parvenant à l'organe 16 à partir de la sortie d'un circuit de comparaison 17. A l'une (18) des entrées du circuit 17, est appliqué un signal en provenance d'un transducteur du courant circulant depuis le redresseur 6 jusqu'à l'onduleur 12, transducteur qui est constitué par le transformateur de courant 19 monté sur l'un des conducteurs de sortie du redresseur 6.

Ce réseau de transport d'énergie comprend en outre un circuit 20 formateur de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur 6 jusqu'à l'onduleur 12. Le signal formé dans le circuit formateur 20, qui est proportionnel à la valeur prédéterminée du courant, est fourni à l'autre entrée 21 du circuit de comparaison 17. Les gâchettes des thyristors constituant les ponts onduleurs 13 sont reliées aux sorties correspondantes

5 d'un organe 22 de commande des angles d'amorçage des thyristors des ponts
onduleurs 13. Ces angles d'amorçage sont choisis en fonction de la valeur
du signal parvenant à l'organe de commande 22 à partir de la sortie d'un
circuit de comparaison 23 dont l'une (24) des entrées est attaquée par un
10 signal proportionnel à la valeur prédéterminée du plus petit des angles
marginaux dans les thyristors des ponts onduleurs 13, et dont l'autre
entrée (25) est connectée à la sortie d'un circuit de mesure 26 servant à
former un signal proportionnel au plus petit des angles marginaux des
thyristors des ponts onduleurs 13. L'organe de commande 22 comprend un
15 élément intégrateur (non représenté) assurant la régulation des angles
d'amorçage des thyristors constituant les ponts 13 avec un retard temporel
par rapport à la variation du signal à la sortie du circuit de comparaison
23.

20 Afin de former un signal proportionnel au plus petit des angles
marginaux, on injecte dans le circuit de mesure 26 les signaux en provenance
d'un transformateur de tension triphasé 27 connecté aux barres 15 et de
transformateurs de courant 28 connectés aux conducteurs de phase reliant les
ponts onduleurs 13 au transformateur 14. Comme circuit de mesure 26, on
utilise ici un montage effectuant la formation de signaux proportionnels aux
25 angles marginaux des thyristors, ensuite la comparaison de ces signaux entre
eux, et enfin, la formation d'un signal proportionnel au plus petit des
angles marginaux. Un tel montage est décrit, par exemple, dans le certificat
d'auteur U.R.S.S. N°466822 cité plus haut.

30 Chacun des ponts onduleurs 13 est un pont triphasé, dans chacune des
phases duquel sont insérés deux thyristors connectés en série : 29 et 30,
31 et 32, 33 et 34. Les thyristors 29, 31 et 33 forment un groupe dans
lequel sont interconnectées toutes les cathodes, alors que les thyristors 30,
32 et 34 constituent un autre groupe où sont interconnectées toutes les
anodes des thyristors, leurs cathodes étant reliées aux anodes des thyristors
35 du premier groupe branchés dans les phases correspondantes du pont 13. La
tension continue prélevée sur les ponts redresseurs 7 est appliquée d'un
côté aux cathodes interconnectées des thyristors 29, 31, 33, et de l'autre
côté, aux anodes interconnectées des thyristors 30, 32, 34. La tension
triphasée invertie est recueillie entre les points de connexion des thyristors
dans chacune des phases. Les ponts redresseurs 7 sont des ponts triphasés
comportant des circuits analogues au circuit du pont onduleur 13.

Le circuit formateur 20 comporte un circuit de soustraction 35, un limiteur sous la forme d'un amplificateur limiteur 36, un circuit de soustraction 37 et un écrêteur de base monté en amplificateur limiteur 38. L'une (39) des entrées du circuit de soustraction 35 est reliée à la sortie du circuit de mesure 26, alors que l'autre entrée (40) du circuit de soustraction 35 est attaquée par un signal proportionnel à la valeur préalablement fixée φ_0 de l'angle marginal. L'entrée de l'amplificateur limiteur 36 est connectée à la sortie du circuit de soustraction 35, et sa sortie, à l'entrée 41 du circuit de soustraction 37, l'autre entrée 42 de ce dernier étant attaquée par un signal proportionnel à l'intensité I_{d_0} du courant entre le redresseur 6 et l'onduleur 12 qui assure le transfert de la puissance requise du redresseur 6 à l'onduleur 12. La sortie de l'amplificateur limiteur 38 constitue en même temps celle du circuit formateur 20 et est reliée à l'entrée 21 du circuit de comparaison 12.

Conformément à l'un des modes de réalisation de l'invention, l'entrée de l'amplificateur limiteur 38 est reliée directement à la sortie du circuit de soustraction 37.

Suivant un autre mode de réalisation de l'invention, le circuit formateur 20 comprend en outre un circuit 43 sensible au signe de la différence entre les signaux, et un circuit sélectif 44. Le circuit 43 sensible au signe de la différence entre les signaux comporte un circuit de comparaison 45 et un circuit bistable 46 l'entrée duquel est reliée à la sortie du circuit de comparaison 45. L'une (47) des entrées du circuit de comparaison 45 est raccordée au circuit de mesure 26, et l'autre entrée (48) du circuit de comparaison 45 est attaquée par un signal proportionnel à la valeur minimale admissible $\varphi_{\min}$ de l'angle marginal des thyristers constituant les ponts onduleurs 13. L'entrée 49 du circuit sélectif 44 est reliée à la sortie du circuit de soustraction 37, et son autre entrée 50 est couplée à la sortie du circuit bistable 46. La sortie du circuit sélectif 44 est raccordée à l'entrée de l'amplificateur limiteur 38.

Le circuit de soustraction 35 délivre un signal positif si le signal à son entrée 40 dépasse le signal à son entrée 39, et un signal négatif si le signal à l'entrée 40 est inférieur au signal à l'entrée 39. L'amplificateur limiteur 36 fournit un signal proportionnel à son signal d'entrée si ce dernier est positif, et un signal nul, si le signal d'entrée est négatif. L'amplificateur limiteur 38 effectue la limitation à la base du signal de

sortie, à un niveau qui correspond à la valeur minimale admissible $I_{d_{\min}}$ du courant allant du redresseur 6 à l'onduleur 12. Le circuit sensible 43 et le circuit sélectif 44 sont exécutés de telle manière que, lorsque le signal à l'entrée 47 du circuit de comparaison 45 dépasse celui
5 présent à sa sortie 48, le signal de sortie du circuit bistable 46 possède un signe de nature à empêcher le passage dudit signal à travers le circuit sélectif 44, mais à permettre le passage, à travers ce circuit, du signal en provenance de la sortie du circuit de soustraction 37, alors que, quand
10 le signal à l'entrée 47 du circuit de comparaison 45 est inférieur à celui présent à sa sortie 48, le signal de sortie du circuit bistable 46 sera d'un autre signe, de nature à permettre le passage dudit signal par le circuit sélectif 44, mais à interdire le passage, par celui-ci, du signal provenant de la sortie du circuit de soustraction 37, le niveau du signal à la sortie du circuit bistable 46 étant dans ce dernier cas inférieur au
15 seuil de limitation de l'amplificateur limiteur 38.

Le circuit sélectif 44 est exécuté de préférence sous la forme d'un circuit de commutation à diodes ou à relais.

Les signaux attaquant les entrées 24 et 48 des circuits de comparaison 23 et 45 et les entrées 40 et 42 des circuits de soustraction 35 et 37
20 sont fournis par des sources respectives 51, 52, 53 et 54 de signaux de référence, représentant chacune un potentiomètre (non représenté) alimenté en tension continue stabilisée.

Si le réseau de transport d'énergie est une sous-station à redresseurs et onduleurs qui relie entre eux des réseaux d'énergie fonctionnant à des
25 fréquences différentes, ses parties constitutives sont relativement proches les unes des autres, étant disposées dans un même bâtiment. Par contre, si le réseau de transport d'énergie est utilisé pour relier des réseaux séparés par une grande distance, l'entrée 21 du circuit de comparaison 17 est reliée à la sortie de l'amplificateur limiteur 38 par l'intermédiaire d'un canal
30 de télécommunication.

Au cours du fonctionnement, on établit aux entrées 24 et 48 des circuits de comparaison 23 et 45 et aux entrées 40 et 42 des circuits de soustraction 35 et 37, au moyen des sources 51, 52, 53 et 54 de signaux de référence, des niveaux proportionnels, respectivement, à la valeur
35 prédéterminée du plus petit des angles marginaux des thyristors de l'onduleur (15° environ), à la valeur minimale admissible $\theta_{\min}$ de l'angle marginal des

thyristors des ponts onduleurs 13 (4° environ), à la valeur préalablement fixée φ_0 de l'angle marginal des thyristors des ponts onduleurs 13 (13° environ) et à l'intensité du courant pouvant assurer le transfert de la puissance requise.

5 Pour le fonctionnement normal du réseau de transport d'énergie, les angles d'amorçage des thyristors constituant les ponts onduleurs 13 sont établis tels que le plus petit des angles marginaux des thyristors soit maintenu égal à sa valeur prédéterminée. Lors d'un écart du plus petit des angles marginaux par rapport à sa valeur prédéterminée, il se forme à la
10 sortie du circuit de comparaison 23 un signal de désadaptation en correspondance duquel l'organe de commande 22 fait varier les angles d'amorçage des thyristors des ponts onduleurs 13 de telle sorte que le plus petit des angles marginaux des thyristors soit égal à la valeur prédéterminée. Tant que le plus petit des angles marginaux varie tout en restant
15 supérieur à la valeur préalablement fixée φ_0 , le signal à l'entrée 39 du circuit de soustraction 35 dépasse celui présent à son entrée 40, le signal de sortie du circuit de soustraction 35 est négatif et le signal de sortie du circuit de soustraction 37 est proportionnel au signal à son entrée 42, c'est-à-dire à la valeur I_{d_0} du courant qui assure le transfert de la
20 puissance requise. Si la sortie du circuit de soustraction 37 est raccordée directement à l'entrée de l'amplificateur limiteur 38, le signal apparaissant à la sortie de ce dernier, et, donc, à l'entrée 21 du circuit de comparaison 17 sera proportionnel au courant I_{d_0} . L'organe de commande 16 établit les angles d'amorçage des thyristors des ponts redresseurs 7 tels que les
25 signaux aux entrées 18 et 21 du circuit de comparaison 17 soient identiques, c'est-à-dire que le courant circulant depuis le redresseur 6 jusqu'à l'onduleur 12 soit égal à I_{d_0} .

Quand le plus petit des angles marginaux des thyristors des ponts onduleurs 13 devient inférieur à la valeur préalablement fixée φ_0 , le signal
30 à l'entrée 39 du circuit de soustraction 35 devient inférieur à celui présent à son entrée 40, et il se forme à la sortie du circuit de soustraction 35 un signal positif proportionnel à la différence entre les signaux à ses entrées 39 et 40. Dans ce cas, le signal de sortie de l'amplificateur limiteur 36 est proportionnel au signal de sortie du circuit de soustraction
35 35, autrement dit, à la différence entre la valeur préalablement fixée φ_0 et le plus petit des angles marginaux des thyristors des ponts onduleurs 13.

Il apparaît alors à la sortie du circuit de soustraction 37 un signal qui est proportionnel à la différence entre le signal à son entrée 42 proportionnel au courant I_{d_0} et le signal de sortie de l'amplificateur limiteur 36. Si la sortie du circuit de soustraction 37 est connectée
5 directement à l'entrée de l'amplificateur limiteur 38, alors, tant que le signal d'entrée de cet amplificateur limiteur 38 reste supérieur ou égal au seuil de limitation, son signal de sortie est proportionnel à la valeur I_{d_0} moins une quantité proportionnelle à la différence entre la valeur
10 préalablement fixée φ_0 de l'angle marginal et le plus petit des angles marginaux des thyristors des ponts onduleurs 13 ; mais quand le signal d'entrée de l'amplificateur limiteur 38 tombe au-dessous du seuil de limitation, son signal de sortie reste à un niveau constant correspondant au courant minimal admissible $I_{d_{min}}$. En fonction du signal parvenant à l'entrée 21 du circuit de comparaison 17 à partir de la sortie de l'amplifi-
15 cateur limiteur 38, l'organe de commande 16 fait varier les angles d'amorçage des thyristors des ponts redresseurs 7 de façon à réduire le courant redressé proportionnellement à la diminution du plus petit des angles marginaux dans les thyristors des ponts onduleurs 13 par rapport à la valeur préalablement fixée, mais en restant toujours au-dessus de la
20 valeur minimale admissible de ce courant redressé.

Si le circuit formateur 20 comporte un circuit 43 sensible au signe de la différence entre les signaux et un circuit sélectif 44, alors, tant que le plus petit des angles marginaux des thyristors des ponts onduleurs 13 dépasse sa valeur minimale admissible φ_{min} , le signal à la sortie de
25 l'amplificateur limiteur 38 et, donc, à l'entrée 21 du circuit de comparaison 17 est formé de la manière exposée ci-dessus. Dans ces conditions, le signal à l'entrée 47 du circuit de comparaison 45 dépasse celui présent à son entrée 48, et il se forme à la sortie du circuit bistable 46 un signal permettant l'application du signal de sortie du circuit de soustraction 37
30 à l'entrée de l'amplificateur limiteur 38. Lorsque le plus petit des angles marginaux des thyristors de l'onduleur 12 diminue au-dessous de la valeur minimale admissible φ_{min} , le signal à l'entrée 47 du circuit de comparaison 45 devient inférieur au signal présent à son entrée 48, alors le signal de sortie du circuit bistable 46 change de signe et passe à l'entrée de
35 l'amplificateur limiteur 38, par suite de quoi ce dernier délivre un signal correspondant à la valeur minimale admissible $I_{d_{min}}$ du courant qui est

appliqué à l'entrée 21 du circuit de comparaison 17. En fonction de ce signal, l'organe de commande 16 fait varier les angles d'amorçage des thyristers des ponts redresseurs 7 de façon à régler à sa valeur minimale admissible le courant circulant depuis le redresseur 6 jusqu'à l'onduleur 12.

5 La diminution du plus petit des angles marginaux dans les thyristers des ponts onduleurs 13 provoque l'apparition d'un signal de désadaptation correspondant à la sortie du circuit de comparaison 23, lequel signal tend à faire varier les angles d'amorçage des thyristers des ponts onduleurs 13. Mais, grâce à l'élément intégrateur prévu dans l'organe de commande 22,
10 cette variation s'effectue trop lentement pour que soit possible une augmentation du courant redressé.

La variation des angles marginaux dans les thyristers de l'onduleur 12 pendant le fonctionnement du dispositif de régulation proposé est illustrée sur la figure 3, où sont données les courbes de variation des courants et
15 des tensions apparaissant dans le pont onduleur 13 (figure 2) lors de l'amorçage des thyristers 29 et 34 et de l'extinction des thyristers 31 et 30.

En se référant à la figure 3, au moment t_1 le courant traverse dans le pont onduleur 13 (figure 2) les thyristers 29 et 34, les autres thyristers du pont 13 étant non conducteurs. Les courants traversant les thyristers 29 et 34 sont représentés en traits pleins sur les graphiques 3a et 3b, respectivement. Le moment t_2 correspond à l'application d'une impulsion d'amorçage à la gâchette du thyristor 31 (figure 2). La variation du courant à travers le thyristor 31 est donné sur le graphique 3c, où l'en peut voir
20 qu'après l'arrivée de l'impulsion d'amorçage, le courant à travers le thyristor 31 (figure 2) croît, pendant un certain temps, de zéro jusqu'à une valeur stationnaire, en atteignant cette valeur stationnaire au moment t_3 (figure 3). A mesure que le courant traversant le thyristor 31 (figure 2) croît, le courant à travers le thyristor 29 tombe jusqu'à zéro, puisque le
25 potentiel de son anode par rapport à l'anode du thyristor 31 est négatif, comme indiqué sur le graphique 3d, où l'on a montré la variation de la tension entre les anodes des thyristers 29 et 31 (figure 2). Le laps de temps entre t_2 et t_3 , mesuré en degrés électriques, constitue l'angle de commutation. Le potentiel de l'anode du thyristor 29 (figure 2) par rapport
30 à l'anode du thyristor 31 devient positif au moment t_4 (figure 3). Le laps de temps entre t_3 et t_4 , mesuré en degrés électriques, constitue l'angle marginal du thyristor 29 (figure 2). Ce laps de temps doit être suffisamment
35

prolongé pour que le thyristor 29 ait le temps de se déioniser après l'instant t_3 (figure 3) correspondant à la cessation du passage du courant. Dans le cas contraire, le thyristor 29 (figure 2) redeviendrait conducteur après l'instant t_4 (figure 3), et l'amorçage du thyristor 30 (figure 2) au moment t_5 (figure 3) conduirait à un court-circuit dans le pont onduleur 13 (figure 2) à travers les thyristors 29 et 30. La variation du courant à travers le thyristor 30 est montrée sur le graphique 3e.

Au cours du fonctionnement du dispositif de régulation, en cas de diminution de l'angle marginal du thyristor 29 (figure 2) jusqu'à une valeur inférieure à celle à laquelle devient probable son réamorçage, c'est-à-dire inférieure à la valeur ϕ_0 , le signal à la sortie du circuit de mesure 26 devient inférieur à celui présent à l'entrée 40 du circuit de soustraction 35. Cela provoque une réduction du signal à l'entrée 21 du circuit de comparaison 17, ce qui conduit, à son tour, à un abaissement de l'intensité du courant redressé proportionnellement à l'écart de l'angle marginal du thyristor 29 par rapport à la valeur ϕ_0 , comme décrit ci-dessus plus en détail. En conséquence, le courant traversant le thyristor 29 diminue, ce qui a pour effet de diminuer l'angle de commutation et d'accélérer la diminution jusqu'à zéro du courant traversant le thyristor 29. Le courant passant à travers le thyristor 29 dans les conditions qui viennent d'être décrites, est représenté en traits tiretés sur le graphique 3a, où l'on peut voir que le thyristor 29 (figure 2) s'éteint à un instant t'_3 (figure 3) antérieur au moment t_3 , par suite de quoi l'angle marginal du thyristor 29 (figure 2) augmente d'une quantité correspondante en évitant ainsi un réamorçage spontané du thyristor 29. La variation du courant passant dans ce cas à travers le thyristor 34 est illustrée en traits tiretés sur le graphique 3c.

Au cas où, pour une raison quelconque, le thyristor 29 (figure 2) resterait quand même conducteur après l'instant t_4 (figure 3), par exemple du fait d'un claquage, d'une déionisation incomplète ou d'une absence d'amorçage du thyristor 34 (figure 2) au moment nécessaire, cela entraînerait immédiatement l'apparition d'un signal nul à la sortie du circuit de mesure 26, ce qui veut dire que l'angle marginal du thyristor 29 serait, dans ce cas, nul, de sorte qu'à l'entrée 21 du circuit de comparaison 17 serait appliqué un signal proportionnel à la valeur minimale admissible $I_{d_{min}}$ du courant redressé, comme déjà décrit plus en détail. Par conséquent, l'organe

de commande 16 établit des angles d'amorçage des thyristors des ponts redresseurs 7 assurant une diminution du courant redressé ou, du moins, une diminution maximale de son accroissement, en évitant ainsi l'augmentation des angles de commutation et la diminution des angles marginaux des autres thyristors des ponts onduleurs 13.

De ce qui précède il ressort que la diminution de la valeur prédéterminée du courant à l'aide du dispositif de régulation proposé s'opère immédiatement après l'instant t_4 (figure 3), ce qui assure une réponse extrêmement rapide à toute perturbation dans la succession des commutations ou à toute diminution inadmissible des angles marginaux dans les thyristors des ponts onduleurs 13 (figure 2).

Ainsi, la présente invention permet de réduire la probabilité de l'apparition et du développement de troubles dans le fonctionnement d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension, ainsi que d'améliorer le fonctionnement des consommateurs d'énergie électrique. Pour fixer les idées, on mentionnera par exemple que, pour un angle d'amorçage des valves de l'onduleur de 145° , l'invention permet de réduire le courant redressé de 2000 à 500 ampères quatre millisecondes après l'apparition d'un court-circuit dans l'une des phases du pont onduleur.

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés qui n'ont été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier, elle comprend tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons, si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises en oeuvre dans le cadre des revendications qui suivent.

REVENDICATIONS

1. Procédé de commande d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comportant un redresseur à valves électroniques réglables ou commandées branché côté transmetteur du réseau de transport d'énergie, et un onduleur à valves électroniques réglables ou commandées branché côté récepteur du réseau de transport d'énergie, du type consistant à maintenir le courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur en correspondance avec une valeur prédéterminée dudit courant grâce à la régulation des angles d'amorçage des valves du redresseur, et à faire varier cette valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, procédé caractérisé en ce que, lorsque la valeur du plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur tombe en dessous d'une valeur préalablement fixée, on fait varier la valeur prédéterminée du courant circulant du redresseur à l'onduleur en correspondance avec la différence entre ladite valeur préalablement fixée et le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, de façon à diminuer la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur lorsque la différence entre la valeur préalablement fixée et le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur augmente, et à augmenter la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur lorsque la différence entre la valeur préalablement fixée et le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur diminue, ladite valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur étant établie égale ou supérieure à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur.

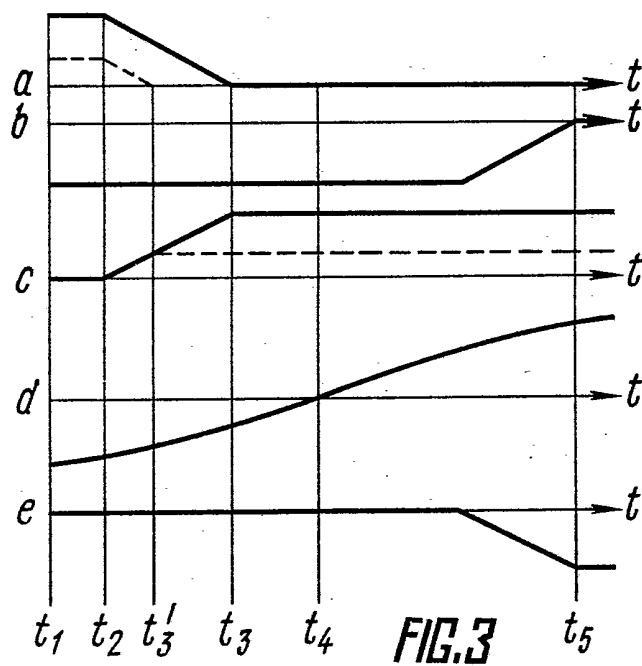
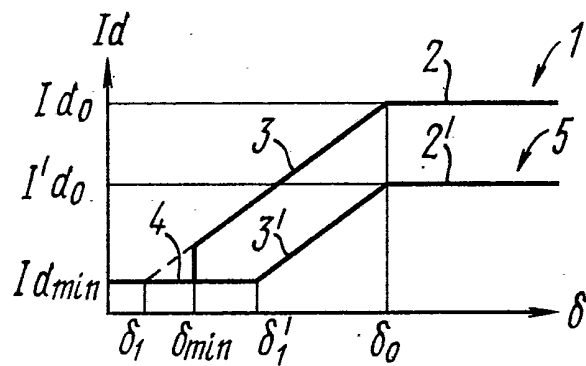
2. Procédé suivant la revendication 1 caractérisé en ce que, quand le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur atteint sa valeur minimale admissible, on règle la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur de sorte qu'elle soit égale à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur.

3. Dispositif de régulation pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'une des revendications 1 et 2, pour la commande d'un réseau de transport d'énergie à courant continu haute tension comportant un redresseur à valves électroniques réglables ou commandées branché côté transmetteur du réseau

de transport d'énergie et un onduleur à valves électroniques réglables ou commandées branché côté récepteur du réseau de transport d'énergie, dispositif du type comprenant un organe de commande des angles d'amorçage des valves du redresseur, un transducteur du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, un circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur, et un circuit de comparaison dont la sortie est reliée audit organe de commande des angles d'amorçage des valves du redresseur et dont les entrées sont connectées respectivement audit transducteur de courant et à la sortie dudit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un circuit de mesure pour la formation d'un signal correspondant au plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, et que le circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant comprend un circuit de soustraction dont l'une des entrées est reliée à la sortie dudit circuit de mesure et dont l'autre entrée est attaquée par un signal correspondant à la valeur préalablement fixée de l'angle marginal, un limiteur empêchant le passage du signal lorsque le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur dépasse sa valeur préalablement fixée, et dont l'entrée est reliée à la sortie dudit circuit de soustraction, un deuxième circuit de soustraction dont l'une des entrées est reliée à la sortie dudit limiteur et à l'autre entrée duquel est appliqué un signal correspondant à l'intensité que le courant du redresseur à l'onduleur doit avoir pour assurer le transfert de la puissance requise du redresseur à l'onduleur, et un écrêteur de base dont l'entrée est connectée à la sortie dudit deuxième circuit de soustraction, tandis que sa sortie constitue la sortie dudit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant, et grâce auquel la valeur minimale du signal formé à la sortie dudit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant et appliqué à l'entrée dudit circuit de comparaison est limitée à un niveau correspondant à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur.

4. Dispositif de régulation suivant la revendication 3, caractérisé en ce que ledit circuit formateur de la valeur prédéterminée du courant comprend un circuit sensible au signe de la différence entre les signaux, dont l'une des entrées est reliée à la sortie dudit circuit de mesure, et dont l'autre entrée est attaquée par un signal correspondant à la valeur

minimale admissible du plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur, et un circuit sélectif inséré entre l'entrée dudit écrêteur de base et la sortie dudit deuxième circuit de soustraction, de telle sorte que l'une des entrées dudit circuit sélectif soit reliée à la sortie du deuxième circuit de soustraction, 5 l'autre entrée du circuit sélectif étant reliée à la sortie dudit circuit sensible, et la sortie du circuit sélectif étant raccordée à l'entrée de l'écrêteur de base, ce circuit sélectif étant destiné à appliquer à l'entrée de l'écrêteur de base le signal de sortie du deuxième circuit de soustraction 10 quand le plus petit des angles marginaux des valves de l'onduleur est supérieur à sa valeur minimale admissible, et à appliquer à l'entrée de ce même écrêteur de base un signal provoquant l'apparition à sa sortie d'un signal correspondant à la valeur minimale admissible du courant circulant depuis le redresseur jusqu'à l'onduleur quand le plus petit des angles 15 marginaux des valves de l'onduleur est inférieur à sa valeur minimale admissible.



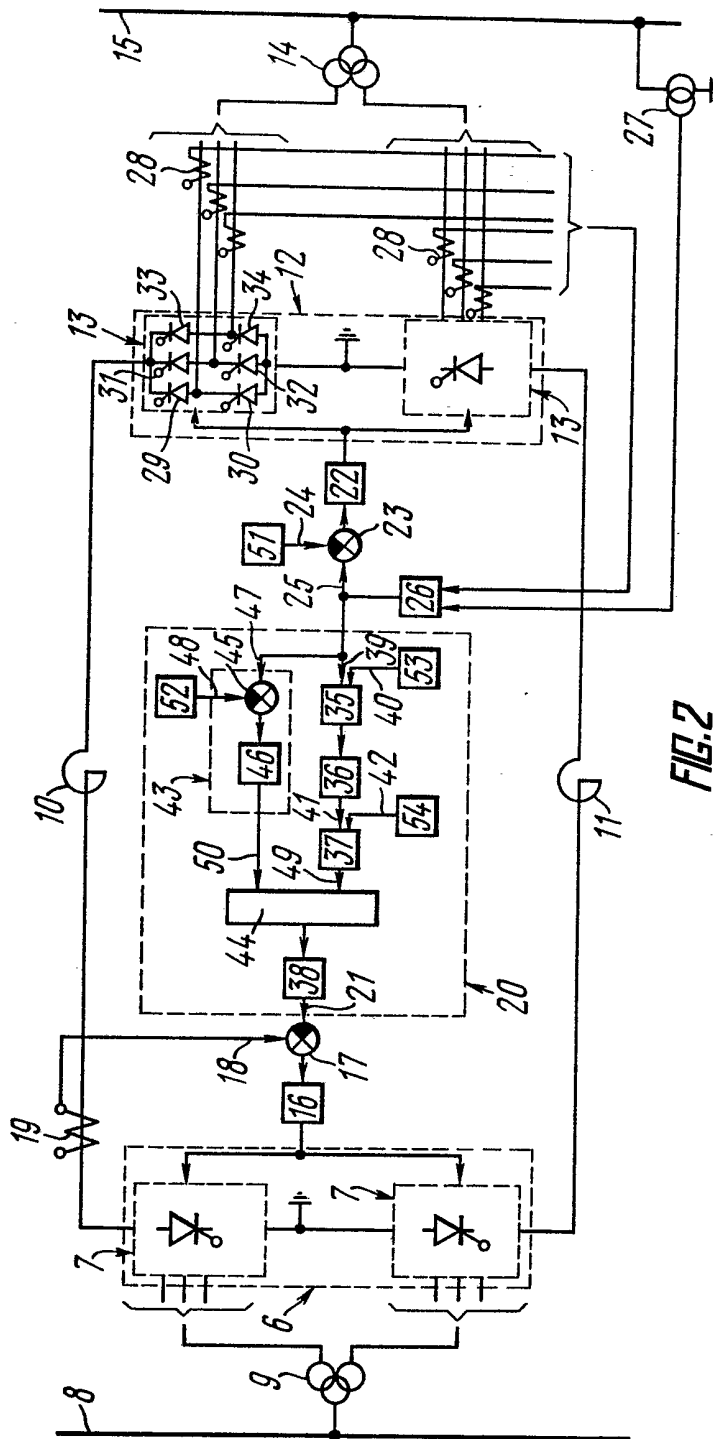


FIG. 2