



12 **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

45 Date de publication du fascicule du brevet :
03.03.93 Bulletin 93/09

51 Int. Cl.⁵ : **G05F 1/67**

21 Numéro de dépôt : **89400219.5**

22 Date de dépôt : **26.01.89**

54 **Système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu.**

30 Priorité : **29.01.88 FR 8801057**
18.07.88 FR 8809682

73 Titulaire : **CENTRE NATIONAL D'ETUDES**
SPATIALES
2 Place Maurice-Quentin
F-75039 Paris Cedex 01 (FR)

43 Date de publication de la demande :
02.08.89 Bulletin 89/31

72 Inventeur : **Rouzies, Christian**
10 Allée des Soupirs
F-31000 Toulouse (FR)

45 Mention de la délivrance du brevet :
03.03.93 Bulletin 93/09

84 Etats contractants désignés :
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

74 Mandataire : **Martin, Jean-Jacques et al**
Cabinet REGIMBEAU 26, Avenue Kléber
F-75116 Paris (FR)

56 Documents cités :
FR-A- 2 175 653
FR-A- 2 504 605
US-A- 3 626 198
US-A- 4 404 472

EP 0 326 489 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention est relative à un système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu comprenant un système générateur de courant couplé à un convertisseur à modulation de largeur d'impulsions.

Dans le domaine de l'alimentation en énergie électrique des aéronefs ou des installations spatiales, l'alimentation est effectuée le plus souvent à partir de générateurs du type générateurs de courant, tels que des générateurs solaires. Ces générateurs désignés sous l'appellation de générateurs de courant présentent une caractéristique de sortie courant-tension $I(V)$ sensiblement rectangulaire, à la fois source de courant dans sa zone (I) et source de tension dans sa zone (II), ainsi que représenté en figure 1a. La caractéristique de sortie puissance-tension $P(V)$ présente une allure sensiblement triangulaire, ainsi que représenté en figure 1b.

Ces générateurs sont normalement associés à un convertisseur d'énergie électrique dit à modulation de largeur, lequel est commandé de façon à délivrer des impulsions de tension rectangulaire de largeur variable en fonction de la puissance consommée par un circuit de charge. Ce type de convertisseur est plus communément désigné en vocable anglo-saxon par "PWM" et correspond à des dispositifs désignés sous le nom de "BUCK", "BOOST" ou "BUCK-BOOST".

La caractéristiques d'entrée courant-tension $I(V)$ d'un tel convertisseur alimentant une charge consommant une puissance constante présente l'allure de la partie positive d'une hyperbole équilatère ainsi que représenté en figure 1c, ces convertisseurs essentiellement réactifs, et présentant un très bon rendement, ne consommant que très peu de puissance.

De manière classique, la boucle électronique de régulation de ces convertisseurs comporte un amplificateur d'erreur comparant la tension à réguler, la tension fournie à la charge, à une tension de référence, le signal d'erreur amplifié étant délivré à un comparateur assurant la modulation de largeur des impulsions de tension délivrées par le convertisseur en comparant le signal d'erreur à un signal engendré par un générateur de dent de scie. Un intégrateur est introduit en sortie du comparateur afin d'obtenir une erreur statique nulle.

Un convertisseur donné, suivant le sens de variation du signal d'erreur en fonction de la variation de la tension à réguler, a donc son point de fonctionnement soit sur la zone I source de courant, soit sur la zone II source de tension de la caractéristique de sortie courant-tension du générateur pour une puissance consommée P constante, ainsi que représenté en figure 1d et 1e.

Lorsque la puissance appelée par la charge devient de plus en plus importante, le point de fonctionnement précité se déplace progressivement sur la caractéristique de sortie $I(V)$ du générateur vers le point de puissance maximale P_{max} , susceptible d'être fournie par le convertisseur.

Lorsque la puissance appelée devient supérieure à la puissance maximale P_{max} , le point de fonctionnement préalablement, situé sur la zone générateur de courant ou au contraire sur la zone générateur de tension, passe sur la zone générateur de tension ou générateur de courant réciproquement, ainsi que représenté en figure 1f et 1g, au delà ou en deçà du point de coordonnées $I(P_{max})$, $V(P_{max})$. Dans ces conditions, le point de fonctionnement devient instable car il y a un changement de régime de fonctionnement, c'est-à-dire passage de l'une à l'autre zone source de courant respectivement tension.

Le point de fonctionnement se déplace, en raison de son instabilité, et termine sa course sur le point de la caractéristique de sortie courant-tension $I(V)$ caractérisé, selon le cas, soit par $I = 0$, soit par $V = 0$ et correspond à une puissance fournie nulle par le générateur solaire, ce qui correspond au phénomène de décrochage, état stable de celui-ci, ainsi que représenté en figure 1f et 1g.

Un système permettant d'extraire la puissance maximale d'un générateur à courant continu de caractéristique $I(V)$ sensiblement rectangulaire a été décrit dans la demande de brevet français FR-A-2,021,063. Ce système comprend une boucle de commande d'un transistor dans le convertisseur le transistor étant commandé à fréquence variable. Ce système ne permet pas d'obtenir une tension régulée.

Le système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu selon l'invention a pour objet de remédier à l'inconvénient précité par la suppression du phénomène de décrochage.

Un autre objet de la présente invention est la mise en oeuvre d'un système de régulation d'une alimentation à courant continu, dans lequel l'amplitude de l'excursion du point de fonctionnement autour du point de puissance maximale P_{max} est ajustable.

Un autre objet de la présente invention est également la mise en oeuvre d'un système de régulation d'une alimentation à courant continu, dans lequel le point de fonctionnement à puissance demandée inférieure à la puissance maximale P_{max} peut être ajusté soit sur la zone de la caractéristique source de courant, soit sur la zone de la caractéristique source de tension.

Un autre objet de la présente invention est enfin la mise en oeuvre d'un système de régulation d'une alimentation à courant continu, dans lequel le générateur solaire peut être couplé au convertisseur sans précaution particulière, un des points de fonctionnement correspondant à la puissance réellement appelée étant au-

tomatiquement atteint.

Le système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu, objet de l'invention, comprend un système générateur de courant couplé à un convertisseur à modulation de largeur d'impulsions.

5 Il est remarquable en ce qu'il comprend des moyens de prélèvement et de mesure de la tension (V) et du courant (I) délivrés par ledit générateur de courant au convertisseur, ces moyens délivrant un signal représentatif de l'intensité (I) et de la tension (V), des moyens détecteurs à seuil du décrochage dudit convertisseur, ces moyens recevant les signaux représentatifs de l'intensité (I) et de la tension (V) délivrés par le générateur d'intensité et délivrant un signal logique (C) représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage du
10 convertisseur par rapport aux valeurs de seuil, une boucle de régulation de la largeur d'impulsions délivrées par le convertisseur, ladite boucle comportant des moyens de prélèvement et de mesure de la tension (Vc) délivrée par le convertisseur à la charge, des moyens amplificateurs différentiels recevant sur une première entrée le signal délivré par lesdits moyens de mesure de la tension délivrée par le convertisseur et sur une
15 deuxième entrée une tension de référence (Ur) et délivrant un signal d'erreur (ε) amplifié, des moyens inverseurs comportant une borne d'entrée recevant ledit signal d'erreur amplifié et une borne de commande d'inversion recevant ledit signal logique (C) délivré par lesdits moyens détecteurs à seuils variables et délivrant le signal d'erreur inversé ($-\varepsilon$), des moyens intégrateurs recevant le signal d'erreur inversé ou non inversé ($\pm\varepsilon$) et délivrant un signal d'erreur intégré (S), des moyens de modulation de largeur d'impulsions comportant un comparateur et un générateur de dent de scie, ledit comparateur comprenant une première borne d'entrée recevant dudit intégrateur ledit signal d'erreur intégré (S) et une deuxième borne d'entrée recevant le signal délivré par le générateur de dent de scie, ledit comparateur comprenant une borne de sortie délivrant un signal de commande de largeur d'impulsions du convertisseur à modulation de largeur d'impulsions.

Le système de régulation objet de l'invention trouve application aux systèmes d'alimentation en énergie électrique de satellites artificiels, d'aéronefs spatiaux et, de manière plus générale, à tout système d'alimentation en énergie électrique mettant en oeuvre des générateurs d'intensité tels que des batteries solaires, tant
25 dans le domaine spatial que domestique.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description et à l'observation des dessins dans lesquels outre les figures 1a à 1g, relatives à des diagrammes de fonctionnement d'un générateur de type classique,

- la figure 2a représente un schéma synoptique du système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu comprenant un système générateur de courant couplé à un convertisseur à modulation de largeur d'impulsions,
- la figure 2b représente aux points 1) et 2) les diagrammes de fonctionnement du point de fonctionnement du système au premier décrochement sur la caractéristique de sortie courant-tension I(V) du générateur de courant,
- la figure 2c représente un diagramme explicatif du fonctionnement du dispositif tel que représenté en figure 2a, de façon plus détaillée dans les étapes successives aux figures 2b 1) ou 2), lorsque la puissance appelée est supérieure à Pmax,
- la figure 3a représente un mode de réalisation préférentiel du système de régulation objet de l'invention tel que représenté en figure 2a,
- la figure 3b représente un diagramme de fonctionnement du point de fonctionnement du système sur la caractéristique de sortie courant-tension I(V) du générateur de courant, lorsque la puissance appelée diminue en deçà de Pmax,
- les figures 4a et 4b représentent un mode de réalisation particulier, non limitatif, préférentiel du système objet de l'invention, représenté en figure 3a,
- les figures 4c, 4d et 4e représentent des diagrammes explicatifs du fonctionnement du dispositif objet de l'invention tel que représenté en figure 4b.
- la figure 5 représente un schéma fonctionnel synoptique d'une variante de réalisation de l'objet de l'invention permettant un passage systématique et immédiat du point de fonctionnement sur la zone source de tension ou sur la zone source de courant lors du passage du mode d'extraction de la puissance maximale du générateur au mode de régulation de tension,
- la figure 6 représente de façon plus détaillée une variante de réalisation de l'objet de l'invention,
- la figure 7 représente, dans une version simplifiée, la variante de réalisation de l'objet de l'invention précédemment représenté en figure 5.

Le système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu objet de l'invention sera tout d'abord décrit en liaison avec la figure 2a.

L'alimentation à courant continu est réputée comprendre un système 1 générateur de courant, lequel est couplé à un convertisseur 2 à modulation de largeur d'impulsions. Le système 1 générateur de courant peut être constitué par un système à cellules solaires et la désignation système générateur de courant doit être

comprise comme un système dont la caractéristique de sortie courant-tension est sensiblement rectangulaire, ainsi que représentée en figure 1a.

Le convertisseur 2 à modulation de largeur d'impulsions est couplé au système générateur de courant. Il permet d'engendrer des impulsions rectangulaires de tension, dont la largeur varie en fonction de la puissance appelée par la charge utile CU ; bien entendu, le convertisseur à modulation de largeur d'impulsions comporte des circuits de lissage, non représentés sur la figure 2a, lesquels permettent de délivrer la tension continue Vc à la charge utile CU.

Conformément à un aspect particulièrement avantageux du système de régulation objet de l'invention, celui-ci comprend, ainsi que représenté en figure 2a, des moyens notés 11, 12 de prélèvement et de mesure de la tension V et du courant I délivré par le générateur de courant 1 au convertisseur 2. Les moyens de prélèvement et de mesure de la tension V et du courant I peuvent avantageusement être constitués par un système potentiométrique en ce qui concerne la mesure de la tension V, et un dispositif shunt ou analogue, en ce qui concerne le prélèvement et la mesure du courant I. Ces éléments de type classique, ne seront pas décrits en détail, car parfaitement connus de l'homme du métier. Les moyens de prélèvement et de mesure 11 et 12 délivrent un signal I, respectivement V, représentatifs de l'intensité I et de la tension V de sortie du générateur de courant, lesquels sont appliqués à l'entrée du convertisseur à modulation de largeur d'impulsions 2.

En outre, le système de régulation objet de l'invention, comporte des moyens 3 détecteurs à seuil du décrochage du convertisseur 2. L'état de décrochage du convertisseur 2 a été défini préalablement à partir des tensions correspondantes de tension V et d'intensité I délivrées par le générateur de courant 1 au convertisseur 2 en liaison avec les figures 1f et 1g. Les moyens 3 détecteurs à seuil du décrochage du convertisseur 2, reçoivent les signaux représentatifs de l'intensité I et de la tension V délivrés par le générateur d'intensité 1, au convertisseur 2 et délivre un signal logique C, représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage du convertisseur 2 par rapport aux valeurs de seuil. On comprendra bien entendu que les valeurs de seuil correspondent soit à une valeur de tension V initialement faible, soit à une valeur d'intensité initialement faible, la comparaison de la valeur de tension V et d'intensité I effective à ces valeurs de seuil permettant lorsque les valeurs de tension V ou d'intensité I sont inférieures respectivement aux valeurs de seuil correspondantes, de mettre en évidence l'état de décrochage ou de non décrochage du convertisseur 2, en fonction de la puissance appelée par la charge utile CU.

En outre, ainsi que représenté en figure 2a, le système de régulation objet de l'invention comporte une boucle de régulation 4 de la largeur d'impulsions délivrées par le convertisseur 2. La boucle de régulation 4 comporte, ainsi que représenté en figure 2a, des moyens 20 de prélèvement et de mesure de la tension Vc délivrée par le convertisseur 2 à la charge utile CU. Ces moyens peuvent être constitués par un montage potentiométrique analogue à celui déjà mentionné pour la réalisation des moyens de prélèvement et de mesure de la tension V délivrée par le générateur de courant 1.

La boucle de régulation 4 comporte également des moyens amplificateurs différentiels 40 recevant sur une première entrée le signal délivré par les moyens 20 de mesure de la tension délivrée par le convertisseur 2 et sur une deuxième entrée une tension de référence notée Ur. Cette tension de référence est délivrée par un générateur de tension continue 41 convenablement stabilisé. Ce type de générateur ne sera pas décrit, car faisant appel à des connaissances normales de l'homme du métier. Les moyens amplificateurs différentiels 40 délivrent un signal d'erreur amplifié noté ε .

En outre, des moyens inverseurs 42 sont prévus, ces moyens inverseurs 42 comportant une borne d'entrée 420, connectée à la sortie de l'amplificateur différentiel 40 et recevant le signal d'erreur amplifié. Les moyens inverseurs 42 comportent en outre une borne de commande d'inversion représentée schématiquement par une lame d'interrupteur notée 421, la borne de commande d'inversion 421 recevant le signal logique C délivré par les moyens 3 détecteurs à seuil. Les moyens inverseurs comportent en outre une borne de transmission directe 424 du signal d'erreur amplifié et une borne de transmission inverse du signal amplifié borne notée 425, laquelle est reliée à un inverseur noté 423. Des moyens inverseurs 42 délivrent ainsi, sur commutation par l'intermédiaire du signal de commande C, le signal d'erreur amplifié non inversé, par l'intermédiaire de la borne 424 ou le signal d'erreur amplifié inversé par l'intermédiaire de la borne 425 et de l'inverseur 423.

Des moyens intégrateurs 43 sont en outre prévus, ces derniers recevant le signal d'erreur inversé ou non inversé, $\pm \varepsilon$ et délivrant un signal d'erreur intégré noté S.

En outre, et de manière classique, des moyens 44 de modulation de largeur d'impulsions sont prévus, ceux-ci comportant un comparateur 440 et un générateur de dents de scie 441. Le comparateur comprend une première borne d'entrée recevant de l'intégrateur 43 le signal d'erreur intégré S et une deuxième borne d'entrée recevant le signal délivré par le générateur de dents de scie 441. La borne de sortie du comparateur 44 délivre un signal de commande noté SCL, de largeur d'impulsions du convertisseur 2 à modulation de largeur d'impulsions. La largeur des impulsions est commandée par la durée de l'état haut du signal SCL, laquelle est elle-même commandée par le temps pendant lequel la tension en dents de scie délivrée par le générateur de dents

de scie 441 est inférieure à la valeur du signal d'erreur amplifié inversé ou non $\pm \varepsilon$.

Ainsi qu'on le comprendra de l'observation de la figure 2b, et en particulier aux points 1 et 2 de celle-ci, pour des valeurs de seuil de courant noté I_{min} et de tension V_{min} des moyens 3 détecteurs de décrochement à seuil du convertisseur 2, à chaque décrochement du convertisseur 2, c'est-à-dire pour chaque franchissement par le point de fonctionnement du régulateur du point de puissance maximale P_{max} sur la caractéristique de sortie courant tension $I(V)$ du générateur de tension 1, l'un des paramètres de courant I ou tension V du point de fonctionnement devient inférieur au seuil I_{min} ou V_{min} imposé ce qui a pour effet d'entraîner le basculement des moyens inverseurs 42. Ce basculement provoque lui-même une inversion de signe du signal d'erreur ε dans la boucle de régulation 4, ce qui a pour effet de faire repartir le point de fonctionnement du convertisseur 2 vers le point de puissance maximale P_{max} évitant en cela indéfiniment l'état de décrochage du convertisseur 2.

Dans le cas où les conditions de fonctionnement sont telles que la puissance appelée P est supérieure à la puissance maximale P_{max} et persiste, le point de fonctionnement oscille entre les deux positions extrêmes définies sur la caractéristique de sortie courant-tension $I(V)$ du générateur d'intensité, position extrême définie par les valeurs de seuil I_{min} et V_{min} , position notée A et B sur la figure 2b aux points 1 et 2 de celle-ci.

Afin d'extraire une puissance moyenne du générateur de courant 1 voisine de la puissance maximale P_{max} que celui-ci est susceptible de fournir, conformément à une caractéristique particulièrement avantageuse du système de régulation objet de l'invention, les moyens 3 détecteurs à seuil de décrochage du convertisseur 2 sont des moyens détecteurs de décrochage à seuil variable. Les seuils variables précités permettent de faire évoluer ces seuils I_{min} et V_{min} encadrant le point de puissance maximum P_{max} vers les coordonnées de ce point.

Dans ce but, les moyens 3 détecteurs à seuil variable peuvent opérer selon le processus ci-après :

- En partant du point de fonctionnement de coordonnées $V_0 = V_{min}$, $I_0 = I(V_{min})$ où, selon la notation habituelle $I(V_{min})$, représente la valeur de l'intensité délivrée par le générateur de courant 1, pour la tension V délivrée par celui-ci égale à V_{min} , ce point bien entendu correspond au point A de la figure 2b 1).

Le point de seuil suivant pourra être défini par exemple par le couple V_1, I_1 , la valeur d'intensité du courant I_1 étant définie par $I_1 = k_I I_0$ et la valeur V_1 correspondant à la valeur de tension sur la caractéristique de sortie courant-tension du générateur de courant 1. Les valeurs de seuil successives peuvent être alors définies à partir de la valeur de seuil V_1, I_1 précédente, par exemple par les couples $V_2 = k_V V_1$ et I_2 correspondant à la valeur d'intensité pour la valeur de tension V_2 précitée et de manière plus générale, par les couples suivants :

$$\left\{ \begin{matrix} V_2 \\ I_2 \end{matrix} = k_V \times V_1 \dots \longrightarrow \left\{ \begin{matrix} V_{2r} \\ I_{2r} \end{matrix} = k_V \times V_{2r-1} \longrightarrow \left\{ \begin{matrix} V_{2r-1} \\ I_{2r-1} \end{matrix} = k_I \times I_{2r} \right. \right.$$

Bien entendu, les coefficients k_I et k_V sont des coefficients strictement inférieurs à 1.

- En partant du point de fonctionnement de coordonnées $I_0 = I_{min}$, $V_0 = V(I_{min})$ où selon la notation habituelle $V(I_{min})$ représente la valeur de la tension V sur la caractéristique de sortie courant-tension $I(V)$ du générateur de courant 1. Ce point correspond sensiblement au point B de la figure 2b aux points 1 et 2 de celle-ci.

La première valeur de seuil correspondant aux couples V_0, I_0 , peut alors être suivie d'une deuxième valeur de seuil correspondant à la valeur de couple $V_1 = k_V \times V_0$ et I_1 correspondant à l'intensité du courant délivrée par le générateur d'intensité pour la valeur de tension V_1 précitée, puis par la deuxième valeur de couple V_2 et $I_2 = k_I I_1$, où V_2 représente la valeur de la tension sur la caractéristique de sortie courant-tension du générateur d'intensité 1, pour l'intensité I_2 précitée. De manière générale, les valeurs de seuil successives correspondent aux valeurs de couple :

$$\left\{ \begin{matrix} V_2 \\ I_2 \end{matrix} = k_I \times I_1 \dots \longrightarrow \left\{ \begin{matrix} V_{2r} \\ I_{2r} \end{matrix} = k_I \times I_{2r-1} \longrightarrow \left\{ \begin{matrix} V_{2r+1} \\ I_{2r+1} \end{matrix} = k_V \times V_{2r} \right. \right.$$

k_I et k_V étant définis de même que précédemment.

On pourra le constater, l'évolution des valeurs de seuil I_{min} et V_{min} , telles que décrites précédemment, permettent ainsi une convergence du point de fonctionnement vers le point de puissance maximale P_{max} .

Une description plus détaillée de la convergence du point de fonctionnement vers le point P_{max} de puissance maximale de la caractéristique sera donnée en liaison avec la figure 2c.

Lorsque la puissance appelée dépasse la puissance P_{max} , sous l'effet d'inversions successives par l'interrupteur K dans la boucle de régulation lors de décrochements déclenchés par les franchissements des seuils initiaux I_{min} et V_{min} , les seuils successifs convergent respectivement vers $I(P_{max})$ et $V(P_{max})$.

5 Le convertisseur extrait une puissance P P_{max} mais la puissance fournie P tend vers P_{max} . Lorsque la puissance appelée P est supérieure à la puissance maximale P_{max} , la tension délivrée par le convertisseur ne peut rester voisine de la valeur de consigne, sauf dans le cas où une source auxiliaire apporte le complément de puissance nécessaire.

Ainsi que représenté en figure 2c, à chaque franchissement de seuil I_{2r} , est retenu pour le prochain seuil de tension, la tension correspondante $V(I_{2r}) \times kV$ avec $kV > 1$. De la même façon, à chaque franchissement le seuil V_{2r} est retenu pour le prochain seuil d'intensité, le courant correspondant $I(V_{2r}) \times kI$ avec $kI > 1$.

En régime établi, les seuils finaux ont respectivement pour valeur: pour le seuil d'intensité : $kI \times I_f$ pour le seuil de tension : $kV \times V_f$ tels que

$$V = f(kI \times I_f) = V_f \text{ et } I = f^{-1}(kV \times V_f) = I_f.$$

15 Dans le cas où kI et kV tendent vers la valeur 1, $kI \times I_f$ tend vers $I(P_{max})$ et $kV \times V_f$ tend vers $V(P_{max})$ mais la convergence est plus lente.

Un mode de réalisation particulièrement adapté à la réalisation du processus précédemment cité, sera donné en liaison avec la figure 3a.

Conformément à la figure précitée, les moyens 3 détecteurs à seuil de décrochement du convertisseur 2, les seuils étant variables, comportent directement connectés respectivement aux moyens de prélèvement et de mesure de la tension V et du courant I , notés 11, 12, un premier et deuxième circuit comparateur 31, 32 constitué par un amplificateur différentiel. La borne négative du comparateur 31 est directement connectée en sortie des moyens de prélèvement et de mesure de la tension V , et la borne positive de ce même comparateur est connectée en sortie des moyens 12 de prélèvement et de mesure de la tension V par l'intermédiaire d'un premier circuit atténuateur 310, connecté en cascade avec un premier circuit échantillonneur-bloqueur 311. Bien entendu, le premier circuit atténuateur 310 présente un coefficient d'atténuation kV , inférieur à 1.

25 Les moyens 3 détecteurs à seuil comportent également un deuxième circuit comparateur 32, constitué par un amplificateur différentiel dont la borne négative est directement connectée en sortie des moyens 11 de prélèvement et de mesure de l'intensité I et dont la borne positive est connectée en sortie des moyens de prélèvement et de mesure de l'intensité I , par l'intermédiaire d'un deuxième circuit atténuateur 320, connecté en cascade avec un deuxième circuit 321 échantillonneur-bloqueur. Le deuxième circuit atténuateur 320 présente un coefficient d'atténuation kI , inférieur à 1.

En outre ainsi qu'on l'a représenté en figure 3a, les moyens 3 de détection à seuil variable comportent une bascule 33 de type RS, dont l'entrée R est directement connectée à la sortie du deuxième comparateur 32 et dont l'entrée S est directement connectée à la sortie du premier comparateur 31. La sortie Q de la bascule 33 de type RS délivre le signal logique C représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage du convertisseur 2, par rapport aux valeurs de seuil variables précitées. La sortie Q de la bascule de type RS 33 est reliée directement à l'entrée de commande d'échantillonnage-blocage du premier échantillonneur-bloqueur 311 et la sortie Q à l'entrée de commande d'échantillonnage-blocage du deuxième échantillonneur-bloqueur 321. Les échantillonneurs-bloqueurs 321 et 311 permettent de mémoriser chacun alternativement une fraction kI du courant I délivré par le générateur de courant 1, lorsque le dernier seuil de tension V_r est franchi et une fraction kV de la tension V délivrée par le générateur de courant 1 au convertisseur 2, lorsque le dernier seuil de courant I_r est franchi. Le franchissement des seuils ainsi mémorisés correspondant donc à des valeurs variables conformément à la loi de variation précédemment décrite est détectée par les comparateurs 31 et 32 lesquels commandent alors la bascule RS 33, celle-ci délivrant le signal logique C de commande de commutation du signe du signal d'erreur amplifié. En outre, les moyens 3 de détection à seuil variable comportent connectés en sortie des échantillonneurs bloqueurs 311 et 321, assurant la liaison avec l'entrée positive des premier et deuxième comparateurs 31, 32, un circuit d'aiguillage conditionnel 312, 322, recevant sur une première entrée le signal délivré par l'échantillonneur bloqueur correspondant 311 ou 321 et sur une deuxième entrée une tension de référence V_{r1} , V_{r2} représentative de la valeur de seuil limite V_{min} respectivement I_{min} . Chacun des circuits d'aiguillage conditionnel 312, 322 permet d'assurer la transmission de la plus grande des valeurs constituée par la valeur du signal délivré par l'échantillonneur bloqueur correspondant ou par la tension de référence V_{r1} ou V_{r2} .

55 Ainsi, lorsque la puissance appelée par la charge utile croît et est $> P_{max}$, les dernières valeurs de seuil échantillonnées varient en conséquence et les valeurs de seuil limites de tension V et de courant I délivrés par le générateur d'intensité 1, convergent vers les valeurs correspondantes de courant et de tension du point de puissance maximale P_{max} , valeurs notées $I(P_{max})$ et $V(P_{max})$ ainsi que représentées sur la figure 2c.

Lorsque la puissance appelée P par la charge utile CU devient inférieure à la puissance maximale P_{max} , susceptible d'être fournie par le générateur d'intensité 1, le convertisseur 2 se positionne alors avec équi-

probabilité, sur l'un des deux points de fonctionnement possible, notés Ai et Bi sur la figure 3b.

Un mode de réalisation pratique permettant d'une part l'initialisation des valeurs de seuil V_{min} et I_{min} et d'autre part d'imposer un point de fonctionnement tel que le point Ai représenté en figure 3b sera décrit en liaison avec les figures 4a et 4b.

5 Selon la figure 4a, pour lesquelles les références correspondent au circuit d'aiguillage conditionnel 312 à titre d'exemple non limitatif, celui-ci comporte une diode Zener 3120 délivrant la tension de référence V_{r1} , représentative de la valeur de tension V_{min} ou I_{min} . La diode Zener 3120 est reliée d'une part à une résistance 3121 alimentée par une source de tension d'alimentation +E et d'autre part, à une première diode 3122 polarisée dans le sens passant par rapport à la source d'alimentation -E. La diode 3122 est connectée à la borne
10 d'entrée positive du comparateur 31 chargée par une résistance 312 connectée en parallèle sur la borne positive du comparateur 31. Une deuxième diode 3124 assure la liaison entre la sortie de l'échantillonneur bloqueur 311, la borne d'entrée positive du comparateur 31. Les deux diodes 3122, 3124 et la résistance 3123 jouent le rôle d'une porte OU analogique permettant la transmission du signal dont la valeur d'amplitude est la plus élevée.

15 Pour des raisons de contraintes électriques imposées aux composants de l'ensemble du système d'alimentation et du système de régulation objet de l'invention, il peut être souhaitable d'imposer l'un des deux points de fonctionnement Ai ou Bi, tels que représentés en figure 3b.

Ainsi, le point Bi sera choisi si on veut limiter le courant absorbé par le convertisseur 2 à un courant I_L tel que $I_{Ai} > I_L > I_{Bi}$.

20 Au contraire, le point Ai sera choisi si on veut limiter la tension d'entrée du convertisseur 2, à une tension V_L telle que $V_{Bi} > V_L > V_{Ai}$.

Pour des raisons de limitation de contraintes électriques sur les composants, on peut être amené à imposer le point de fonctionnement lorsque la caractéristique $I(V)$ du générateur 1, tel qu'un générateur solaire, varie fortement. Ces variations correspondent par exemple à des situations telles que sonde spatiale se rapprochant
25 du soleil, point de fonctionnement immédiatement positionné sur la partie source de courant, courant d'entrée du convertisseur limitée à I_{min} .

Ainsi que représenté en figure 4c, le point de fonctionnement peut être situé sur la zone "source de courant" sur le générateur si on veut limiter la tension d'entrée du convertisseur à une valeur V_{lim} ou sur la zone "source de tension" sur le générateur si on veut au contraire limiter le courant d'entrée du convertisseur à une valeur
30 I_{lim} .

Afin d'imposer au point de fonctionnement situé sur la zone "source de courant" le passage sur la zone "source de tension" et dans le but d'éviter que le courant d'entrée du convertisseur ne dépasse I_{lim} , ainsi qu'il est représenté en figure 4b, les moyens 3 de détection à seuil variable comportent en outre un comparateur 323 dont la borne positive est reliée aux moyens de prélèvement et de mesure d'intensité I_1 et dont la borne
35 négative est reliée à une tension de référence V_{r3} représentative de l'intensité limite I_{lim} . Le comparateur 323 par détection du dépassement, délivre, par sa sortie connectée à l'entrée S de la bascule RS33 par l'intermédiaire d'une porte OU 314 recevant sur une deuxième entrée le signal délivré par la sortie du comparateur 31, un signal de commande ce qui permet d'introduire une inversion correspondante dans la boucle de régulation 4, rendant le point de fonctionnement initial instable. Simultanément, afin d'éviter qu'éventuellement le seuil d'intensité du détecteur de décrochement n'empêche le point de fonctionnement d'arriver sur la zone "source de tension", un interrupteur 325 commandé par la sortie du comparateur 323 permet la mise en court-circuit de l'échantillonneur bloqueur 321, ce qui permet d'entrer une valeur nulle sur l'échantillonneur bloqueur 321, le seuil d'intensité ne pouvant alors être réinitialisé qu'à la valeur I_{min} , s'il ne l'était déjà.

Afin d'imposer au point de fonctionnement situé sur la zone "source de tension" le passage sur la zone
45 "source de courant" en vue d'éviter que la tension d'entrée du convertisseur ne dépasse V_{lim} , les moyens 3 de détection à seuil variable comportent un autre comparateur 313 dont la borne positive est reliée aux moyens de prélèvement et de mesure de tension et dont la borne négative est reliée à une tension de référence V_{r4} représentative de la tension limite V_{lim} . Le comparateur 313, sur détection du dépassement, délivre par sa sortie connectée à l'entrée R de la bascule RS33 par l'intermédiaire d'une porte OU 324 recevant sur une
50 deuxième entrée le signal délivré par la sortie du comparateur 32, un signal de commande permettant d'introduire une inversion correspondante dans la boucle de régulation 4. En outre, afin d'éviter qu'éventuellement le seuil de tension du détecteur de décrochement n'empêche le point de fonctionnement d'arriver sur la zone "source de courant", un interrupteur 326 commandé par la sortie du comparateur 313 permet la mise en court-circuit simultanée de l'échantillonneur-bloqueur 312, ce qui permet d'entrer une valeur nulle sur l'échantillonneur bloqueur 312, le seuil de tension ne pouvant alors être réinitialisé qu'à la valeur V_{min} , s'il ne l'était déjà.

55 Bien entendu, une utilisation simultanée des circuits de limitation de l'intensité et de la tension aux valeurs I_{lim} et V_{lim} pourra être effectuée pourvu que la caractéristiques $I(V)$ du générateur 1, générateur solaire embarqué sur satellite par exemple, soit telle que :

$$V_{lim} \gg V_{CO}$$

ET

$$P \ll I_{lim} \times V(I_{lim})$$

OU BIEN

$$I_{lim} \gg ICC$$

ET

$$P \ll V_{lim} \times I(V_{lim})$$

5

ainsi que représenté en figures 4d et 4e.

Un mode de réalisation plus particulièrement avantageux des moyens amplificateurs différentiels 40 et des moyens inverseurs 42 précédemment décrits en liaison avec la figure 2a sera maintenant décrit en liaison

10

avec la figure 3a précédemment citée. Conformément à la figure 3a précitée, les moyens amplificateurs différentiels 40 et les moyens inverseurs 42 peuvent avantageusement être constitués par un premier amplificateur d'erreur 401, dont l'entrée positive est connectée à la tension de référence U_r délivrée par la source de tension de référence 41 non représentée sur la figure 3a. L'entrée négative du premier amplificateur d'erreur 401 est connectée aux moyens 20 de pré-

15

lèvement et de mesure de la tension V_c délivrée par le convertisseur 2. La sortie du premier amplificateur d'erreur 401 délivre un premier signal d'erreur noté ε_1 . En outre, est prévu un deuxième amplificateur d'erreur 402, dont l'entrée négative est connectée à la tension de référence U_r et dont l'entrée positive est connectée aux moyens 20 de prélèvement et de mesure de la tension V_c délivrée par le convertisseur 2. La sortie du deuxième amplificateur d'erreur 402 délivre un

20

deuxième signal d'erreur ε_2 et le gain du deuxième amplificateur d'erreur 402 est identique au gain du premier amplificateur d'erreur 401. Le deuxième amplificateur d'erreur 402 délivre donc, compte tenu des indications précédentes, un signal d'erreur ε_2 tel que $\varepsilon_2 = -\varepsilon_1$. La borne de sortie du premier amplificateur d'erreur 401 et la borne de sortie du deuxième amplificateur d'erreur 402 sont reliées chacune à un point commun lequel est relié à la borne d'entrée de l'intégrateur 43. Cette liaison est effectuée par l'intermédiaire de résistances

25

de charge R et de transistors de commutation T_1 , T_2 montés en émetteur commun et dont la base est reliée respectivement à la sortie Q , \bar{Q} de la bascule RS33. Les résistances de polarisation des transistors T_1 et T_2 sont notées r_b . On notera bien entendu que l'interrupteur K est ainsi constitué par les transistors T_1 , T_2 . La commutation à l'ouverture et réciproquement à la fermeture précitée permet au point commun du transistor T_1 , respectivement T_2 , de délivrer un signal d'erreur amplifié, ε_1 , ou ε_2 avec $\varepsilon = \varepsilon_1$ ou $\varepsilon = -\varepsilon_1$. Le mode de réalisation précité permet donc d'obtenir au niveau de la borne de sortie, un signal d'erreur amplifié inversé ou non, $\pm \varepsilon$.

30

Le mode de réalisation précédemment décrit donne toute satisfaction. Cependant, lors du passage du mode d'extraction de la puissance maximale du générateur au mode de régulation de la tension de sortie, de par la symétrie du système, le point de fonctionnement du générateur est susceptible de se placer soit en zone

35

de générateur de tension, soit en zone de générateur de courant de façon aléatoire. Il peut cependant être souhaitable lors du passage du mode d'extraction de la puissance maximale du générateur au mode de régulation de tension, ou de courant, que le point de fonctionnement passe systématiquement et immédiatement sur la zone source de tension ou sur la zone source de courant, sans attendre que le point de fonctionnement atteigne ses valeurs limites I_{lim} ou U_{lim} , ainsi que décrit dans la demande précédemment.

40

Ce résultat peut, conformément à l'objet d'une variante de réalisation de l'objet de l'invention, être atteint en prévoyant des moyens inverseurs comprenant un inverseur comportant une première borne d'entrée recevant le signal d'erreur amplifié, une deuxième borne d'entrée, une borne de sortie et une borne de commande d'inversion recevant le signal logique représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage du convertisseur, des moyens générateurs d'une tension de référence étant directement connectés à la deuxième borne

45

de sortie de l'inverseur, la borne de sortie de ce dernier étant directement connectée à l'entrée des moyens intégrateurs pour délivrer à ces derniers soit le signal d'erreur amplifié, soit, sur commutation par l'intermédiaire du signal logique représentatif de l'état de décrochage du convertisseur, la tension de référence de façon à positionner directement le point de fonctionnement sur la zone source de courant ou source de tension indépendamment de la valeur du courant d'entrée ou de la tension du convertisseur.

50

Le mode de réalisation précité sera tout d'abord décrit en liaison avec la figure 5.

Conformément à la figure précitée, le système de régulation objet de l'invention comporte, ainsi que décrit précédemment, un système générateur de courant couplé à un convertisseur 2 à modulation de largeur d'impulsion.

55

De même, les moyens 11 et 12 de prélèvement et de mesure de la tension V et du courant I délivrés par le générateur de courant 1 au convertisseur 2 sont prévus, ces moyens délivrant un signal représentatif de l'intensité et de la tension précitées. Des moyens détecteurs 3 à seuil de décrochage du convertisseur 2 reçoivent les signaux représentatifs de l'intensité I et de la tension V précitées et délivrent un signal logique C

représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage du convertisseur 2 par rapport aux valeurs de seuil.

Une boucle de régulation 4 permet une régulation de la largeur des impulsions délivrées par le convertisseur. Cette boucle comprend des moyens 20 de prélèvement et de mesure de la tension VC délivrée par le convertisseur 2 à la charge CU et des moyens amplificateurs 40 de type amplificateur différentiel recevant sur une première entrée le signal délivré par les moyens 20 de mesure de la tension délivrée par le convertisseur et sur une deuxième entrée une tension de référence UR délivrant le signal d'erreur amplifié .

Conformément au mode de réalisation de la figure 5, objet de l'invention, des moyens inverseurs 42 sont prévus, lesquels comportent un inverseur proprement dit noté 042 comportant une première borne d'entrée 420 recevant le signal d'erreur amplifié , une deuxième borne d'entrée 422, une borne de sortie 423 et une borne de commande d'inversion 421 recevant le signal logique C précité.

En outre, un générateur 424 de tension de référence noté U_c est directement connecté à la deuxième borne d'entrée 422 de l'inverseur 042. La borne de sortie 4230 de l'inverseur 042 est directement connectée à l'entrée des moyens intégrateurs 43 pour délivrer à ces derniers soit le signal d'erreur amplifié ε , soit, sur commutation par l'intermédiaire du signal logique C représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage du convertisseur 2, la tension de référence U_c de façon à positionner directement le point de fonctionnement sur la zone source de courant ou source de tension indépendamment de la valeur du courant d'entrée ou de la tension d'entrée du convertisseur 2.

Sur la figure 5, les moyens intégrateurs 43 et les moyens de modulation de largeur d'impulsion constitués par le comparateur 440 et le générateur de dents de scie 441 assurent la même fonction que les mêmes éléments dans les autres modes de réalisation.

Le mode de réalisation, objet de l'invention, tel que représenté en figure 5 de façon non limitative, permet alors de remplacer le signal d'erreur amplifié ε assurant le fonctionnement en régulation de tension sur la zone source de courant ou inversement sur la zone source de tension par une tension de commande constante constituée par la tension de référence U_c semblable à celle délivrée par la sortie inversée de l'amplificateur d'erreur 40 lorsque le convertisseur fonctionne en mode d'extraction de la puissance maximale. Dans ces conditions, on voit aisément que grâce à la tension constante U_c intégrée par l'intégrateur 43 le point de fonctionnement du convertisseur est toujours renvoyé au point de fonctionnement correspondant en zone de source de tension ou inversement en zone de source de courant même si, à ce moment là, la puissance appelée par la charge utile CU devient inférieure à la puissance maximale que peut fournir le générateur. Le point de fonctionnement du convertisseur 2 est ainsi positionné sur la zone source de courant ou sur la zone source de tension indépendamment de la valeur du courant d'entrée ou de la tension du convertisseur.

De manière générale, la tension de référence U_c peut être constituée par une source de tension continue de bonne stabilité. Celle-ci a pour valeur de tension une valeur sensiblement égale à la valeur du signal d'erreur amplifié ε qu'elle remplace pour le point de fonctionnement correspondant au régime d'extraction de la puissance maximale de façon à imposer, sur diminution de la puissance appelée, une position du point de fonctionnement du convertisseur et du générateur 1 soit dans la zone de source de courant, soit dans la zone de source de tension.

Sur la figure 6, on a représenté une variante de réalisation particulière correspondant sensiblement au mode de réalisation de la figure 3a précédemment décrite.

Dans la variante de réalisation précitée correspondant à la figure 6 précédemment mentionnée, on notera que la tension de commande U_c peut en fait correspondre à l'une des deux valeurs U_{c1} ou U_{c2} , voisines de la tension de commande U_c . On comprendra dans ce cas que les deux valeurs U_{c1} et U_{c2} peuvent alors correspondre au choix du fonctionnement en zone de tension respectivement zone de courant du générateur 1 en fonction des caractéristiques du générateur et de celles du convertisseur de découpage 2. Dans ce cas, et de façon non limitative, un commutateur 4000 permet à un utilisateur de commuter pour assurer le choix entre les tensions de commande U_{c1} ou U_{c2} correspondantes, la tension U_{c1} ayant pour valeur la valeur de tension lors du fonctionnement en mode d'extraction de la puissance maximale pour l'amplificateur 402 représenté en figure 6, analogue à l'amplificateur 401 mais de polarité opposée, la tension U_{c2} ayant réciproquement pour valeur la tension correspondante pour l'amplificateur 401, celui-ci étant supprimé et remplacé par l'amplificateur 402 précité. En fait, le commutateur 4000 peut comporter deux parties 4000 A, 4000 B formant commutateur double, la deuxième partie 4000 B comprenant une première et une deuxième borne d'entrée, lesquelles sont respectivement reliées à la sortie de l'amplificateur 401, 402. La borne de sortie de la deuxième partie 4000 B est connectée à la première borne d'entrée de l'inverseur 042. La commutation simultanée des deux parties 4000 A, 4000 B du commutateur 4000 permet la substitution à l'amplificateur 401 ou 402 de la tension de commande U_{c2} ou U_{c1} .

On notera cependant qu'en pratique, ces deux tensions sont très voisines et le mode de réalisation présenté en figure 6 apparaît alors comme un exemple non limitatif. Bien entendu, dans la figure 6, l'ensemble

des éléments portant les références des éléments des autres modes de réalisation précédemment décrits, et en particulier de la figure 3a, assure les mêmes fonctions.

Un mode de réalisation simplifié d'un système de régulation conforme à l'objet de la présente invention sera maintenant décrit en liaison avec la figure 7.

5 Selon le mode de réalisation représenté en figure 7, celui-ci représente une simplification du mode de réalisation représenté en figure 6. Dans ce cas, le signal d'erreur amplifié ε est délivré par un amplificateur 401 jouant le rôle de comparateur par rapport à une tension de référence notée U_r . Le comparateur 401 est suivi de l'étage de commutation noté 42 et jouant bien entendu le rôle des moyens inverseurs 42 précédemment décrits. L'étage de commutation 42 est connecté en parallèle sur la sortie de l'amplificateur 401 et est constitué
10 par un transistor T1 monté en émetteur commun et dont la base est reliée directement à la sortie Q de la bascule 33 des moyens 3 détecteurs à seuil de décrochage du convertisseur 2.

Conformément au mode de réalisation représenté en figure 7, la tension de référence U_c est engendrée sur commutation à son niveau haut de la sortie Q de la bascule 33 par saturation du transistor T1 précité. Cette commutation permet alors d'appliquer à l'entrée des moyens intégrateurs 43 une tension U_c de référence sensiblement nulle, à la tension de saturation notée $V_{C\text{sat}}$ près du transistor T1, semblable à la tension d'erreur de l'amplificateur remplacé lors du mode d'extraction de la puissance maximale.

On a ainsi décrit un système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu comprenant un système générateur de courant couplé à un convertisseur à modulation de largeur d'impulsions particulièrement performant.

20 Le système de régulation objet de l'invention apparaît particulièrement bien adapté à une utilisation spatiale pour l'alimentation en énergie électrique de circuits électroniques de satellites artificiels ou d'aéronefs et plus particulièrement de sondes d'exploration spatiale. Dans ce cas, en raison de la quasi-impossibilité d'intervention en cas de défaillance et de la méconnaissance de l'évolution du comportement générateur solaire, le générateur d'intensité 1, cette électronique de régulation permet de se prémunir des défauts de fonctionnement dus à des conditions de fonctionnement particulièrement défavorables, conditions défavorables consistant par exemple en des dégradations diverses, état de pénombre, dépointage du soleil, éloignement du soleil, variation de température, ou analogue. Bien entendu, la configuration de l'alimentation proprement dite n'est pas limitative, un ensemble de stockage tampon constitué par une batterie éventuellement en série avec un régulateur de décharge pouvant être connecté en parallèle sur la charge utile CU, en sortie du convertisseur.
25 Le fonctionnement de l'ensemble du système de régulation objet de l'invention n'est bien entendu pas modifié par la présence d'un tel ensemble de stockage tampon.

Le système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu objet de l'invention permet d'assurer un fonctionnement satisfaisant même en dépit de la modification des caractéristiques courant-tension du générateur solaire, modification due au vieillissement et/ou aux conditions d'environnement
35 des composants électroniques le constituant.

Revendications

- 40 1. Système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu comprenant un système (1) générateur de courant couplé à un convertisseur (2) à modulation de largeur d'impulsions, ledit système de régulation comprenant :
- . une boucle de régulation (4) de la largeur d'impulsions délivrée par le convertisseur, ladite boucle comportant :
 - 45 - des moyens (20) de prélèvement et de mesure de la tension (VC) délivrée par ledit convertisseur (2) à la charge (CU),
 - des moyens amplificateurs différentiels (40) recevant sur une première entrée le signal délivré par ledits moyens (20) de mesure de la tension délivrée par le convertisseur et sur une deuxième entrée une tension de référence (U_r) et délivrant un signal d'erreur (ε) amplifié,
 - 50 - des moyens inverseurs (42) comportant une borne d'entrée (420) recevant ledit signal d'erreur amplifié et une borne de commande d'inversion (421) recevant ledit signal logique (C) délivré par ledits moyens détecteurs à seuils et délivrant le signal d'erreur inversé ou non inversé ($\pm \varepsilon$),
 - des moyens intégrateurs (43) recevant le signal d'erreur inversé ou non inversé ($\pm \varepsilon$) et délivrant un signal d'erreur intégré (S),
 - 55 - des moyens (44) de modulation de largeur d'impulsions comportant un comparateur (440) et un générateur de dent de scie (441), ledit comparateur comprenant une première borne d'entrée recevant dudit intégrateur (43) ledit signal d'erreur intégré (S) et une deuxième borne d'entrée recevant le signal délivré par le générateur de dent de scie (441), ledit comparateur (44) comprenant

une borne de sortie délivrant un signal de commande (SCL) de largeur d'impulsions du convertisseur à modulation de largeur d'impulsions.

caractérisé en ce que ledit système de régulation comprend également :

- 5 . des moyens (12, 11) de prélèvement et de mesure de la tension (V) et du courant (I) délivrés par ledit générateur de courant (1) audit convertisseur (2), lesdits moyens (11, 12) délivrant un signal représentatif de ladite intensité (I) et de ladite tension (V),
- 10 . des moyens (3) détecteurs à seuil du décrochage dudit convertisseur (2) lesdits moyens (3) recevant lesdits signaux représentatifs de l'intensité (I) et de la tension (V) délivrés par ledit générateur d'intensité (1) et délivrant un signal logique (C) représentatif de l'état de décrochage ou de non décrochage dudit convertisseur (2) par rapport auxdites valeurs de seuil.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens (3) détecteurs à seuil de décrochement dudit convertisseur (2) sont des moyens détecteurs de décrochement à seuil variable.

15 3. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens (3) détecteurs à seuil de décrochement dudit convertisseur (2) à seuil variable comportent directement connectés respectivement aux moyens de prélèvement et de mesure de la tension (V) et du courant (I) délivrés par le générateur de courant audit convertisseur, et recevant respectivement ledit signal représentatif de la tension (V) et de l'intensité (I) délivrés par le générateur de courant audit convertisseur :

20 - un premier circuit comparateur (31), constitué par un amplificateur différentiel, dont la borne négative est directement connectée en sortie desdits moyens de prélèvement et de mesure de la tension (V) et dont la borne positive est connectée en sortie desdits moyens (12) de prélèvement et de mesure de la tension (V) par l'intermédiaire d'un premier circuit atténuateur (310) de coefficient d'atténuation (KV) connecté en cascade avec un premier circuit échantillonneur-bloqueur (311),

25 - un deuxième circuit comparateur (32) constitué par un amplificateur différentiel, dont la borne négative est directement connectée en sortie desdits moyens (11) de prélèvement et de mesure de l'intensité (I) et dont la borne positive est connectée en sortie desdits moyens de prélèvement et de mesure de l'intensité (I) par l'intermédiaire d'un deuxième circuit atténuateur (320) de coefficient d'atténuation (KI) connecté en cascade avec un deuxième circuit (321) échantillonneur-bloqueur,

30 - une bascule (33) de type RS dont l'entrée R est directement connectée à la sortie dudit deuxième comparateur (32) et dont l'entrée S est directement connectée à la sortie dudit premier comparateur (31), la sortie Q ou \bar{Q} de ladite bascule (33) de type RS étant représentative de l'état de décrochage ou de non décrochage dudit convertisseur par rapport auxdites valeurs de seuil, ladite sortie \bar{Q} ou Q de la bascule de type RS étant reliée directement à l'entrée de commande d'échantillonnage bloquage du premier échantillonneur-bloqueur (311) et à l'entrée de commande d'échantillonnage bloquage du deuxième échantillonneur-bloqueur (321) respectivement.

40 4. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits premier et deuxième échantillonneurs-bloqueurs sont connectés à l'entrée du comparateur (31), respectivement 32, par l'intermédiaire d'un circuit d'aiguillage conditionnel (312, 322) de valeur de tension respectivement d'intensité de référence représentative de valeurs de seuil (Vmin) ou (Imin).

5. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque circuit d'aiguillage conditionnel (312,322) d'une valeur de tension respectivement d'intensité de référence (Vmin, Imin) comporte :

45 - une diode Zener (3120) délivrant une tension de référence (V_{r1}) représentative de la valeur de tension (Vmin) ou (Imin), ladite diode Zener (3120) étant reliée d'une part à une résistance (3121) alimentée par une source de tension d'alimentation +E et d'autre part à une première diode (3122) polarisée dans le sens passant par rapport à la source d'alimentation +E, ladite diode (3122) étant connectée à la borne d'entrée positive du comparateur (31),

50 - une deuxième diode (3124) assurant la liaison entre la sortie de l'échantillonneur-bloqueur (311) et la borne d'entrée positive du comparateur (31), les deux diodes (3122, 3124) et la résistance (3123) jouant le rôle d'une porte OU analogique permettant la transmission du signal dont la valeur d'amplitude est la plus élevée.

55 6. Système selon la revendication 6, caractérisée en ce que en vue d'imposer le point de fonctionnement (I,V) du convertisseur à l'un des points Ai, Bi, intersection de la caractéristique (I,V) du générateur et de la courbe de puissance de consommation $P = cste$, inférieure à Pmax, celui-ci comporte, afin d'imposer au point de fonctionnement situé sur la zone "source de courant" le passage sur la zone "source de ten-

- sion" et afin de limiter l'intensité d'entrée du convertisseur à une valeur inférieure à une valeur limite I_{lim} ,
- un compateur (323) dont la borne positive est reliée aux moyens de prélèvement et de mesure d'intensité (11) et dont la borne négative est reliée à une tension de référence V_{r3} représentative de l'intensité limite I_{lim} ,
- 5 - une porte OU (314) recevant sur une première entrée le signal délivré par le comparateur (31) et sur une deuxième entrée le signal délivré par le comparateur (323), ce qui permet d'introduire une inversion correspondante dans la boucle de régulation (4), rendant le point de fonctionnement initial instable.
7. Système selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que, en vue d'imposer au point de fonctionnement situé sur la zone "source de tension" le passage sur la zone "source de courant" et afin de limiter la tension d'entrée du convertisseur à une tension inférieure à une valeur limite V_{lim} , celui-ci comporte :
- un comparateur (313) dont la borne positive est reliée aux moyens de prélèvement et de mesure de tension (20) et dont la borne négative est reliée à une tension de référence V_{r4} représentative de la tension limite V_{lim} ,
- 10 - une porte OU (324) recevant sur une première entrée le signal délivré par le comparateur (32) et sur une deuxième entrée le signal délivré par le comparateur (313), ce qui permet d'introduire une inversion correspondante dans la boucle de régulation (4), rendant le point de fonctionnement initial instable.
8. Système selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un interrupteur (325), (326) connecté en parallèle sur l'entrée de l'échantillonneur-bloqueur (321) respectivement (311), chaque interrupteur (325, 326) étant commandé par la sortie du comparateur (323) respectivement (313) ce qui permet d'entrer une valeur nulle sur l'échantillonneur-bloqueur, le seuil d'intensité ou de tension ne pouvant alors être réinitialisé qu'à la valeur I_{min} ou respectivement V_{min} .
9. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits moyens amplificateurs différentiels (40) et lesdits moyens inverseurs (42) sont constitués par :
- un premier amplificateur d'erreur (401) dont l'entrée positive est connectée à ladite tension de référence (U_r) et dont l'entrée négative est connectée auxdits moyens (20) de prélèvement et de mesure de la tension (V_c) délivrée par le convertisseur (2), la sortie dudit premier amplificateur d'erreur (40) délivrant un premier signal d'erreur (ε_1),
- 20 - un deuxième amplificateur d'erreur (402) dont l'entrée négative est connectée à ladite tension de référence (U_r) et dont l'entrée positive est connectée auxdits moyens (20) de prélèvement et de mesure de la tension (V_c) délivrée par le convertisseur (2), la sortie du deuxième amplificateur d'erreur délivrant un deuxième signal d'erreur (ε_2) avec ($\varepsilon_2 = -\varepsilon_1$), la borne de sortie dudit premier amplificateur d'erreur (401) et la borne de sortie dudit deuxième amplificateur d'erreur (402) étant reliées directement à un point commun, lequel est relié à la borne d'entrée de l'intégrateur 43, la liaison au point commun étant effectuée par l'intermédiaire de résistance R et de transistors de commutation T1, T2, montés en émetteur commun et dont la base est reliée respectivement à la sortie Q, \bar{Q} de la bascule RS 33, la commutation à l'ouverture réciproquement à la fermeture des transistors T1, respectivement T2, permettant de délivrer un signal d'erreur amplifié $\varepsilon = \varepsilon_1$ ou $\varepsilon = -\varepsilon_1$.
- 25
- 30
- 35
- 40
10. Système de régulation du point de fonctionnement d'une alimentation à courant continu, selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens inverseurs (42) comportent :
- un inverseur (042) comportant une première borne d'entrée (420) recevant ledit signal d'erreur amplifié (ε), une deuxième borne d'entrée (422), une borne de sortie (423) et une borne de commande d'inversion (421) recevant ledit signal logique (C),
- 45 - des moyens (424) générateurs d'une tension de référence (U_c) directement connectés à la deuxième borne d'entrée de l'inverseur (042), la borne de sortie (4230) de l'inverseur (042) étant directement connectée à l'entrée des moyens intégrateurs (43) pour délivrer à ces derniers, soit le signal d'erreur amplifié (ε), soit sur commutation par l'intermédiaire du signal logique (C), représentatif de l'état de décrochage du convertisseur, la tension de référence (U_c) de façon à positionner directement le point de fonctionnement sur la zone source de courant ou source de tension indépendamment de la valeur du courant d'entrée ou de la tension.
- 50
- 55
11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite tension de référence U_c a pour valeur une valeur sensiblement égale à la valeur du signal d'erreur amplifié (ε) pour le point de fonctionnement correspondant au régime d'extraction de la puissance maximale de façon à imposer, sur diminution de la puissance appelée, une position du point de fonctionnement, soit dans la zone de source de courant,

soit dans la zone de source de tension.

- 5 12. Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit signal d'erreur amplifié (ε) étant délivré par un amplificateur (401) jouant le rôle de comparateur par rapport à une tension de référence (U_r) suivi d'un étage de commutation connecté en parallèle sur la sortie de l'amplificateur (401) et constitué par un transistor (T1) monté en émetteur commun dont la base est reliée directement à la sortie Q de la bascule (33), ladite tension de référence U_c est engendrée sur commutation à son niveau haut de la sortie Q de la bascule (33) par saturation dudit transistor (T1) de façon à appliquer à l'entrée des moyens intégrateurs (43) une tension U_c de référence sensiblement nulle, à la tension de saturation V_{CEsat} près du transistor (T1).
- 10

Patentansprüche

- 15 1. System zur Regelung des Arbeitspunktes einer Gleichstromversorgung mit einem an einen Wandler (2) zur Impulsbreitenmodulation gekoppelten Stromgeneratorsystem (1), wobei das Regelungssystem enthält:
- einen Regelkreis (4) für die Breite der vom Wandler abgegebenen Impulse, wobei der Regelkreis enthält:
 - 20 - Mittel (20) zum Abgreifen und zur Messung der vom Wandler (2) an die Last (CU) abgegebenen Spannung (V_c),
 - Differenzverstärkermittel (40), die an einem ersten Eingang das von den Mitteln (20) zur Messung der vom Wandler abgegebenen Spannung gelieferte Signal und an einem zweiten Eingang eine Referenzspannung (U_r) empfangen und ein verstärktes Fehlersignal (ε) abgeben,
 - 25 - Invertiermittel (42), die einen das verstärkte Fehlersignal empfangenden Eingangsanschluß (420) und einen ein von Schwellenwertdetektormitteln geliefertes, logisches Signal (C) empfangenden Anschluß (421) zur Steuerung der Invertierung umfassen und ein invertiertes oder nicht invertiertes Fehlersignal ($\pm\varepsilon$) abgeben,
 - Integratormittel (43), die das invertierte oder nicht invertierte Fehlersignal ($\pm\varepsilon$) empfangen und ein integriertes Fehlersignal (S) abgeben, und
 - 30 - Mittel (44) zur Impulsbreitenmodulation, die einen Komparator (440) und einen, Sägezahn-generator (441) umfassen, wobei der Komparator einen ersten Eingangsanschluß, der das integrierte Fehlersignal (S) vom Integrator (43) empfängt, und einen zweiten Eingangsanschluß umfaßt, der das vom Sägezahn-generator (441) gelieferte Signal empfängt, und der Komparator (440) einen Ausgangsanschluß besitzt, der ein Signal (SCL) zur Steuerung der Breite der Impulse des Wandlers zur Impulsbreitenmodulation abgibt,
- dadurch gekennzeichnet, daß das Regelungssystem des weiteren enthält:
- Mittel (12, 11) zum Abgreifen und zur Messung der Spannung (V) und des Stroms (I), die vom Strom-generator (1) an den Wandler (2) abgegeben werden, wobei die Mittel (11, 12) ein für die Stromstärke (I) und die Spannung (V) repräsentatives Signal liefern,
 - die Schwellenwertdetektormittel (3) für das Kippen des Wandlers (2), wobei die Mittel (3) die für die Stromstärke (I) und die Spannung (V) repräsentativen Signale empfangen, welche vom Stromgenerator (1) geliefert werden, und ein logisches Signal (C) abgeben, das für den Status des Kippens oder des Nicht-Kippens des Wandlers (2) in Abhängigkeit von den Schwellenwerten repräsentativ ist.
- 40
- 45 2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellenwertdetektormittel (3) für das Kippen des Wandlers (2) Kipp-Detektormittel mit variablem Schwellenwert sind.
- 50 3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellenwertdetektormittel (3) für das Kippen des Wandlers (2) mit variablem Schwellenwert folgende Elemente enthalten, die jeweils direkt mit den Mitteln zum Abgreifen und zur Messung der Spannung (V) und des Stroms (I), die vom Stromgenerator an den Wandler geliefert werden, verbunden sind und jeweils das für die Spannung (V) und die Stromstärke (I), die vom Stromgenerator an den Wandler geliefert werden, repräsentative Signal empfangen:
- eine erste Komparatorschaltung (31), die durch einen Differenzverstärker gebildet wird, dessen negativer Anschluß direkt an den Ausgang der Mittel zum Abgreifen und zur Messung der Spannung (V) und dessen positiver Anschluß an den Ausgang der Mittel (12) zum Abgreifen und zur Messung der Spannung (V) vermittels eines ersten Dämpfungskreises (310) mit einem Dämpfungskoeffizienten (kV) angeschlossen ist, der in Kaskade mit einer ersten Abtast- und Halte-Schaltung (311) verbunden ist,
- 55

- eine zweite Komparatorschaltung (32), die durch einen Differenzverstärker gebildet wird, dessen negativer Anschluß direkt an den Ausgang der Mittel (11) zum Abgreifen und zur Messung der Stromstärke (I) und dessen positiver Anschluß an den Ausgang der Mittel zum Abgreifen und zur Messung der Stromstärke (I) vermittels eines zweiten Dämpfungskreises (320) mit einem Dämpfungskoeffizienten (kl) angeschlossen ist, der in Kaskade mit einer zweiten Abtast- und Halte-Schaltung (321) verbunden ist,
- 5 - eine Kippschaltung (33) vom RS-Typ, deren Eingang (R) direkt mit dem Ausgang des zweiten Komparators (32) und deren Eingang (S) direkt mit dem Ausgang des ersten Komparators (31) verbunden ist, wobei der Ausgang Q oder \bar{Q} der Kippschaltung (33) vom RS-Typ für den Status des Kippens oder Nicht-Kippens des Wandlers in Abhängigkeit von den Schwellenwerten repräsentativ ist und der Ausgang \bar{Q} bzw. Q der Kippschaltung vom RS-Typ direkt an den Abtast/Halte-Steuereingang des ersten Abtast- und Halteglieds (311) beziehungsweise an den Abtast/Halte-Steuereingang des zweiten Abtast- und Halteglieds (321) angeschlossen ist.
- 10
4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und das zweite Abtast- und Halteglied mit dem Eingang des Komparatos (31) beziehungsweise (32) vermittels einer von einem für die Schwellenwerte (V_{min}) bzw. (I_{min}) repräsentativen Referenzspannungs- beziehungsweise -Stromstärkewert bedingten Weichenschaltung (312, 322) verbunden sind.
- 15
5. System nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß jede von einem Referenzspannungs- beziehungsweise -stromstärkewert (V_{min} , I_{min}) bedingte Weichenschaltung (312, 322) enthält:
- 20 - eine Zener-Diode (3120), die eine für den Spannungswert (V_{min}) oder (I_{min}) repräsentative Referenzspannung (V_{r1}) liefert, wobei die Zener-Diode (3120) einer-seits mit einem an eine Versorgungsspannungsquelle (+E) angeschlossenen Widerstand (3121) und andererseits mit einer bezüglich der Versorgungsquelle (+E) in Durchlaßrichtung gepolten, ersten Diode (3122) verbunden ist, wobei die Diode (3122) mit dem positiven Eingangsanschluß des Komparators (31) verbunden ist, und
- 25 - eine zweite Diode (3124), die die Verbindung zwischen dem Ausgang des Abtast- und Halteglieds (311) und dem positiven Eingangsanschluß des Komparators (31) sicherstellt, wobei die zwei Dioden (3122, 3124) und der Widerstand (3123) die Rolle eines analogen ODER-Gatters spielen, das die Übertragung des Signals erlaubt, dessen Amplitudenwert der höchste ist.
- 30
6. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß dieses im Hinblick darauf, den Arbeitspunkt (I,V) des Wandlers auf einen der Punkte A_i , B_i , den Schnittpunkten der (I,V)-Charakteristik des Generators mit der Leistungsverbrauchskennlinie $P = const.$, kleiner als P_{max} , einzustellen, folgende Elemente enthält, um für den auf dem "Stromquellen"-Bereich gelegenen Arbeitspunkt den Übergang zum "Spannungsquellen"-Bereich zu bewirken und um die Eingangsstromstärke des Wandlers auf einen Wert zu begrenzen, der niedriger als ein Grenzwert I_{Lin} ist:
- 35 - einen Komparator (323), dessen positiver Anschluß an die Mittel zum Abgreifen und zur Messung der Stromstärke (11) und dessen negativer Anschluß an eine für die Grenzstromstärke I_{Lim} repräsentative Referenzspannung V_{r3} angeschlossen ist, und
- 40 - ein ODER-Gatter (314), das an einem ersten Eingang das vom Komparator (31) gelieferte Signal und an einem zweiten Eingang das vom Komparator (323) gelieferte Signal empfängt, was die Einleitung einer entsprechenden Invertierung im Regelkreis (4) erlaubt, die den anfänglichen Arbeitspunkt instabil macht.
- 45
7. System nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß dieses im Hinblick darauf, für den über dem "Spannungsquellen"-Bereich gelegenen Arbeitspunkt den Übergang zum "Stromquellen"-Bereich zu bewirken, und um die Eingangsspannung des Wandlers auf eine Spannung zu begrenzen, die niedriger als ein Grenzwert V_{Lim} ist, folgende Elemente enthält:
- 50 - einen Komparator (313), dessen positiver Anschluß an die Mittel zum Abgreifen und zur Messung der Spannung (12) und dessen negativer Anschluß an eine für die Grenzspannung V_{Lim} repräsentative Referenzspannung V_{r4} angeschlossen ist, und
- ein ODER-Gatter (324), das an einem ersten Eingang das vom Komparator (32) gelieferte Signal und an einem zweiten Eingang das vom Komparator (313) gelieferte Signal empfängt, was die Einleitung einer entsprechenden Invertierung im Regelkreis (4) erlaubt, die den anfänglichen Arbeitspunkt instabil macht.
- 55
8. System nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem einen Schalter (325), (326) aufweist, der parallel mit dem Eingang des Abtast- und Halteglieds (321) beziehungsweise

(311) verbunden ist, wobei jeder Schalter (325, 326) vom Ausgang des Komparators (323) beziehungsweise (313) gesteuert wird, was die Eingabe eines Wertes Null am Abtast- und Halteglied erlaubt, wobei der Schwellenwert der Stromstärke oder der Spannung dann nur auf den Wert I_{\min} beziehungsweise V_{\min} reinitialisiert werden kann.

5

9. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenzverstärkermittel (40) und die Invertermittel (42) gebildet sind durch:

10

- einen ersten Fehlerverstärker (401), dessen positiver Eingang mit der Referenzspannung (U_r) und dessen negativer Eingang mit den Mitteln (20) zum Abgreifen und zur Messung der vom Wandler (2) gelieferten Spannung (V_c) verbunden ist, wobei der Ausgang des ersten Fehlerverstärkers (401) ein erstes Fehlersignal (ε_1) abgibt,

15

- einen zweiten Fehlerverstärker (402), dessen negativer Eingang mit der Referenzspannung (U_r) und dessen positiver Eingang mit den Mitteln (20) zum Abgreifen und zur Messung der vom Konverter (2) gelieferten Spannung (V_c) verbunden ist, wobei der Ausgang des zweiten Fehlerverstärkers ein zweites Fehlersignal (ε_2) mit ($\varepsilon_2 = -\varepsilon_1$) abgibt, der Ausgangsanschluß des ersten Fehlerverstärkers (401) und der Ausgangsanschluß des zweiten Fehlerverstärkers (402) direkt an einen gemeinsamen Punkt angeschlossen sind, welcher an den Eingangsanschluß des Integrators (43) angeschlossen ist, die Verbindung mit dem gemeinsamen Punkt über einen Widerstand (R) und Schwaltransistoren (T1, T2) ausgeführt ist, die in Emitterschaltung angeordnet sind und deren Basis an den Ausgang Q bzw. \bar{Q} der Kippschaltung RS (33) angeschlossen ist, und die Umschaltung wechselseitig auf Öffnen und auf Schließen der Transistoren (T1) beziehungsweise (T2) die Abgabe eines verstärkten Fehlersignals $\varepsilon = \varepsilon_1$ bzw. $\varepsilon = -\varepsilon_1$ erlaubt.

20

10. System zur Regelung des Arbeitspunkts einer Gleichstromversorgung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Invertermittel (42) enthalten:

25

- einen Inverter (042) mit einem ersten Eingangsanschluß (420), der das verstärkte Fehlersignal (ε) empfängt, einem zweiten Eingangsanschluß (422), einem Ausgangsanschluß (423) und einem Steueranschluß (421) für die Invertierung, der das logische Signal (C) empfängt,

30

- Generatormittel (424) für eine Referenzspannung (U_c), die direkt mit dem zweiten Eingangsanschluß des Inverters (042) verbunden sind, wobei der Ausgangsanschluß (423) des Inverters (042) direkt mit dem Eingang der Integratormittel (43) verbunden ist, um diesen letzteren entweder das verstärkte Fehlersignal (ε) oder über Umschalten mittels des logischen Signals (C), das für den Kipp-Zustand des Wandlers repräsentativ ist, die Referenzspannung (U_c) so zu liefern, daß der Arbeitspunkt direkt auf dem Stromquellen- oder Spannungsquellenbereich unabhängig vom Eingangsstrom- oder Spannungswert positioniert wird.

35

11. System nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzspannung (U_c) einen im wesentlichen gleichen Wert wie der Wert des verstärkten Fehlersignals (ε) für den Arbeitspunkt aufweist, der dem Gebiet der maximalen Leistungsentnahme entspricht, so daß bei Verringerung der abgerufenen Leistung eine Arbeitspunktposition entweder im Stromquellenbereich oder im Spannungsquellenbereich bewirkt wird.

40

12. System nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Referenzspannung (U_c) über eine Umschaltung am Ausgang Q der Kippschaltung (33) auf dessen hohes Niveau durch Sättigung des Transistors (T1) so erzeugt wird, daß am Eingang der Integratormittel (43) eine Referenzspannung (U_c) angelegt wird, die im wesentlichen gleich Null ist, bis auf die Sättigungsspannung ($V_{CE_{\text{sat}}}$) des Transistors (T1), wobei das verstärkte Fehlersignal (ε) durch einen Verstärker (401) geliefert wird, der bezüglich einer Referenzspannung (U_r) die Rolle eines Komparators spielt, welchem eine Umschaltungsstufe folgt, die parallel an den Ausgang des Verstärkers (401) angeschlossen und durch einen in Emitterschaltung angeordneten Transistor (T1) gebildet ist, dessen Basis direkt mit dem Ausgang Q der Kippschaltung (33) verbunden ist.

50

Claims

55

1. System for regulating the operating point of a direct current power supply comprising a current generator system (1) and a pulse width modulation converter (2) connected to said current generator system, said regulation system comprising :

- a loop (4) for regulating the width of pulses supplied by said converter and comprising :
 - . means (20) for sampling and measuring the voltage (VC) supplied by said converter (2) to a load (CU),
 - . differential amplifier means (40) connected to receive on a first input said signal supplied by said means (20) for measuring the voltage supplied by said converter and on a second input a reference signal (Ur) and adapted to provide an amplified error signal (ε),
 - . inverter means (42) comprising an input (420) connected to receive said amplified error signal and an inversion control input (421) connected to receive said logic signal supplied by said threshold detector means and adapted to provide an inverted or non-inverted error signal ($\pm \varepsilon$),
 - . integrator means (43) connected to receive said inverted or non-inverted error signal ($\pm \varepsilon$) and adapted to provide an integrated error signal (S), and
 - . pulse width modulator means (44) comprising a sawtooth signal generator (441) and a comparator (440) having a first input connected to receive from said integrator means (43) said integrated error signal (S), a second input connected to receive the signal supplied by said sawtooth signal generator (441) and an output adapted to provide a pulse width control signal to said pulse width modulation converter,
- characterized in that said regulation system further comprises:
- means (12,11) for sampling and measuring the current (I) and voltage (V) supplied by said current generator system (1) to said converter (2) and adapted to provide a signal representing said current (I) and voltage (V),
 - threshold detector means (3) for sensing stalling of said converter (2) connected to receive said signal representing said current (I) and voltage (V) supplied by said current generator system (1) and adapted to provide a logic signal (C) representing the stalled or non-stalled state of said converter (2) relative to defined threshold values of said threshold detector means.
2. System according to claim 1 wherein said threshold detector means (3) are variable threshold detector means.
 3. System according to claim 2 wherein said variable threshold detector means (3) comprise, connected to said means for sampling and measuring said voltage (V) and said current (I) supplied by said current generator to said converter to receive said signal representing said voltage (V) and said current (I) supplied by said current generator to said converter;
 - a first attenuator circuit (310), a first sampling and blocking circuit (311) in series with said first attenuator circuit (310) and a first comparator circuit (31) comprising a differential amplifier having a negative input connected directly to said voltage (V) sampling and measuring means (12) and a positive input connected to said voltage (V) sampling and measuring means (12) through said first attenuator circuit (310) and said first sampling and blocking circuit (311),
 - a second attenuator circuit (320), a second sampling and blocking circuit (321) in series with said second attenuator circuit (320) and a second comparator circuit (32) comprising a differential amplifier having a negative input connected directly to said current (I) sampling and measuring means (11) and a positive input connected to said current (I) sampling and measuring means (11) through said second attenuator circuit (320) and said second sampling and blocking circuit (321),
 - an RS flip-flop (33) having an R input connected to said second comparator circuit (32), an S input connected to said first comparator circuit (31) and a direct or complemented output adapted to provide said logic signal representing the stalled or non-stalled state of said converter (2) with respect to said threshold values, said first and second sampling and blocking circuits (311,321) having respective control inputs to which said direct or complemented output of said RS flip-flop (33) is connected.
 4. System according to claim 3 further comprising a respective conditional switching circuit (312,322) for each voltage and current reference value representing a minimum threshold value (Vmin, Imin) and wherein said first and second sampling and blocking circuits (311,321) are connected to the inputs of the respective comparator circuits (31,32) by the respective conditional switching circuits (312,322).
 5. System according to claim 4 wherein each conditional switching circuit (312,322) comprises :
 - a zener diode (3120) adapted to supply a reference voltage (Vr1) representing the voltage or current reference value (Vmin, Imin), a resistor (3121) adapted to be connected to a supply voltage (+E) and a first diode (3122) adapted to be biased in the forward direction relative to said supply voltage (+E) and connected to the positive input of the respective comparator (31),

- a second diode (3124) connecting the output of the respective sampling and blocking circuit (311) to the positive input of the respective comparator (31), said first and second diodes (3122,3124) and said resistor (3121) constituting an analog OR gate adapted to pass the input signal with the higher amplitude.

5

6. System according to claim 5 wherein, in order to situate the operating point (I,V) of said converter at one of the points (Ai, Bi) where the current-voltage (I,V) characteristic of the generator intersects the curve for constant power consumption at less than the maximum power and in order to make the operating point situated in the "current source" area move to the "voltage source" area and to limit the input current of the converter to a value less than a defined limiting value (Ilim), the system comprises :

10

- a further comparator (323) having a positive input connected to said current sampling and measurement means and a negative input connected to receive a reference voltage (V_{r3}) representing said limiting current (Ilim), and

15

- an OR gate (314) having a first input connected to receive the signal supplied by the respective comparator (31) and a second input connected to receive the signal delivered by said further comparator (323) whereby a corresponding inversion can be inserted into said regulation loop (4) to render the initial operating point unstable.

7. System according to claim 5 or 6, wherein, in order to make the operating point situated in the "voltage source" area move to the "current source" area and to limit the input voltage of the converter to a value less than a defined limiting value (Vlim), the system comprises :

20

- a further comparator (313) having a positive input connected to said voltage sampling and measurement means (12) and a negative input connected to receive a reference voltage (V_{r4}) representing said limiting voltage (Vlim), and

25

- an OR gate (324) having a first input connected to receive the signal supplied by the respective comparator (32) and a second input connected to receive the signal delivered by said further comparator (313) whereby a corresponding inversion can be inserted into said regulation loop (4) to render the initial operating point unstable.

30

8. System according to claim 6 or 7, further comprising a switch (325,326) connected in parallel with the input of each sampling and blocking circuit (321,311) and adapted to be controlled by the output of said comparator (323,313) so that a null value may be input to the sampling and blocking circuit, whereby the current or voltage threshold can only be reinitialized to the respective minimum value (Imin, Vmin).

35

9. System according to any one of the preceding claims, wherein said differential amplifier means (40) and said inverter means (42) comprise a first error amplifier (401) having a positive input connected to receive said reference voltage (U_r), a negative input connected to said means (20) for sampling and measuring the voltage (V_c) supplied by said converter (2) and an output adapted to provide a first error signal (ε_1), a second error amplifier (402) having a negative input connected to receive said reference voltage (U_r), a positive input connected to said means (20) for sampling and measuring the voltage (V_c) supplied by said converter (2), an output adapted to provide a second error signal (ε_2), which is of the same magnitude but the opposite sign to said first error signal (ε_1), a common point connected to the respective outputs of said first and second error amplifiers (401,402) and to the input of said integrator (43), a resistor (R) and switching transistors (T_1, T_2) in a common emitter circuit with the respective base connected to the direct/ complemented output (Q, \bar{Q}) of said RS flip-flop (33), said resistor (R) and switching transistors (T_1, T_2) providing the aforementioned connection between said common point and the respective error amplifier outputs, whereby said transistors (T_1, T_2) may be switched on and off to supply an amplified error signal with either polarity ($\varepsilon = \pm \varepsilon_1$).

40

45

50

10. System according to claim 1 wherein said inverter means (42) comprise an inverter (042) having a first input (420) connected to receive said amplified error signal (ε), a second input (422), an output (423) and an inversion control input (421) connected to receive said logic signal (C), and means (424) for generating a reference voltage (U_c) connected to said second input (422) of said inverter (042) the output (423) of which is connected to the input of said integrator means (43) to supply thereto either the amplified error signal (ε) or (in response to switching caused by said logic signal (C) representing said stalled state of said converter) said reference voltage (U_c) so as to position the operating point directly in said current source area or in said voltage source area independently of the value of the input current or of the voltage.

55

11. System according to claim 10 wherein said reference voltage (U_c) has a value substantially equal to the

value of said amplified error signal (ε) for the operating point corresponding to maximum power extraction so that if the power demand is reduced the operating point is placed in said current source area or in said voltage source area.

- 5 **12.** System according to claim 11 further comprising an amplifier (401) adapted to supply said amplified error
signal (ε) and function as a comparator with reference to a reference voltage (U_r) and a switching stage
connected to the output of said amplifier (401) and comprising a common emitter transistor (T1) having
a base connected to the direct output (Q) of said flip-flop (33), whereby said reference voltage (U_c) is
10 generated when said direct output (Q) of said flip-flop (33) goes "high" as a result of saturation of said
transistor (T1) so as to apply to the input of said integrator means (43) a substantially null reference voltage
(U_c), neglecting the saturation voltage (V_{CEsat}) of said transistor (T1).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

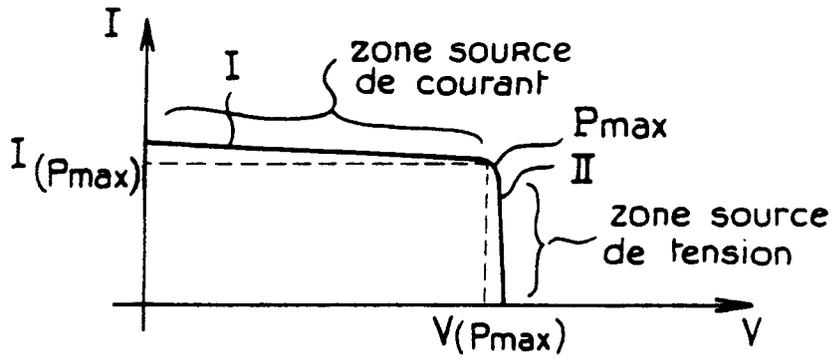


FIG.1a

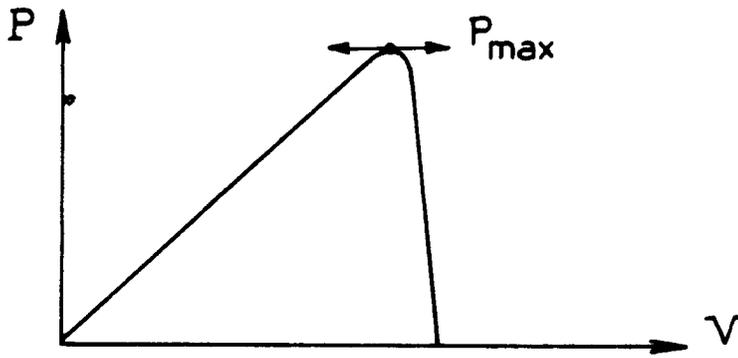


FIG.1b

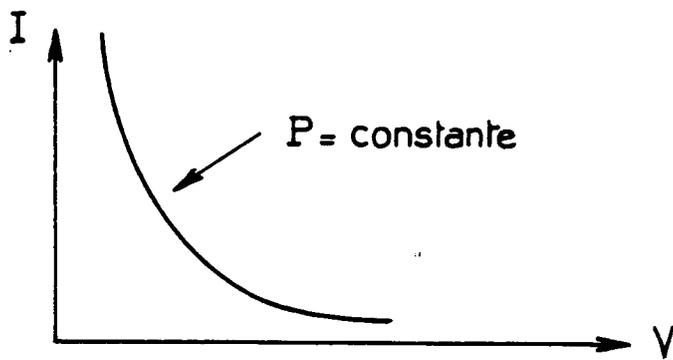


FIG.1c

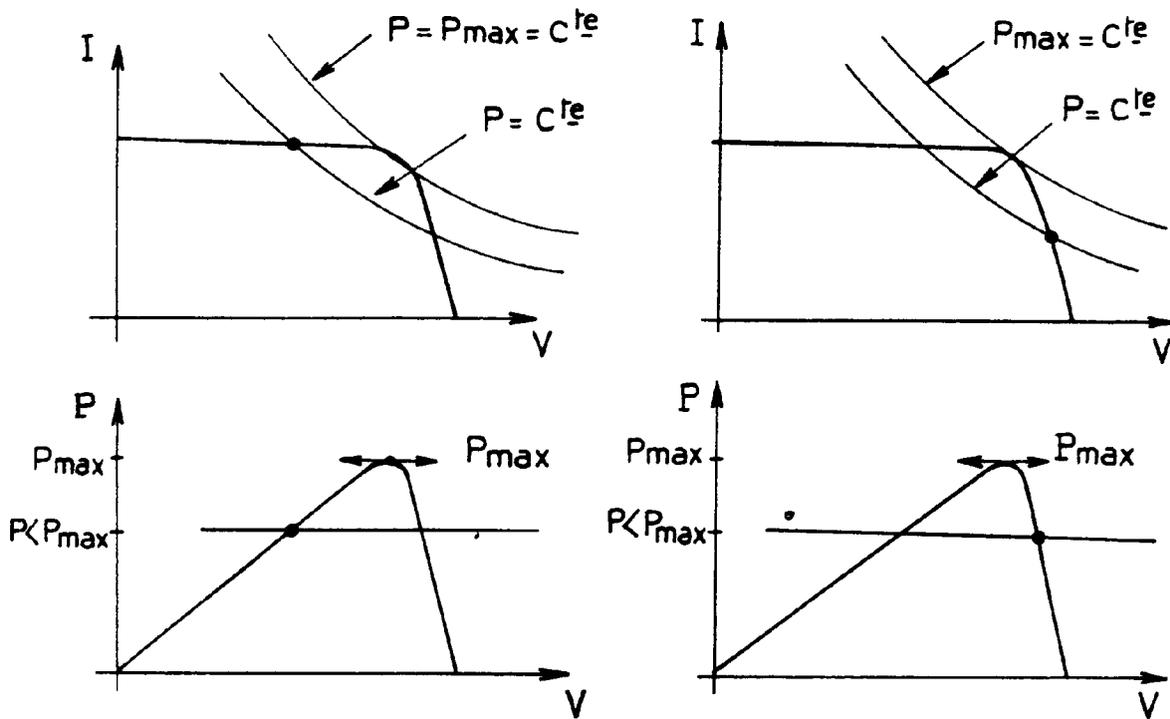


FIG.1d

FIG.1e

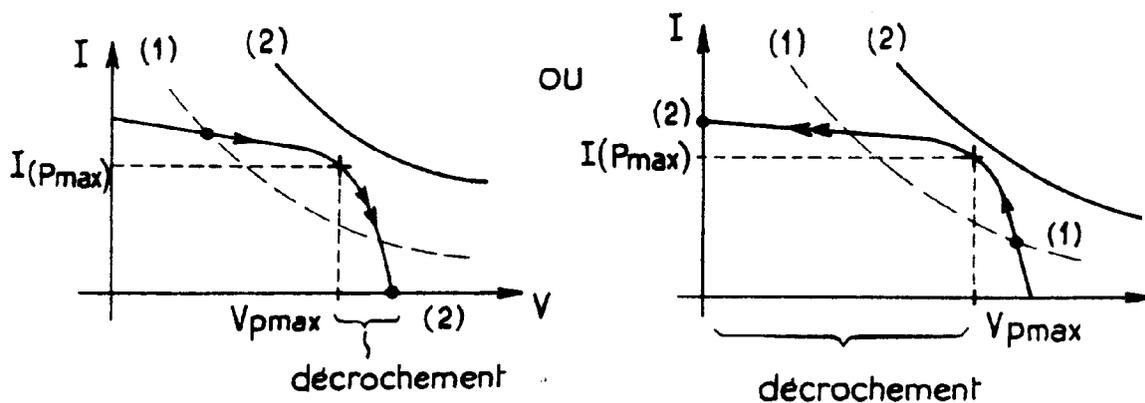


FIG.1f

FIG.1g

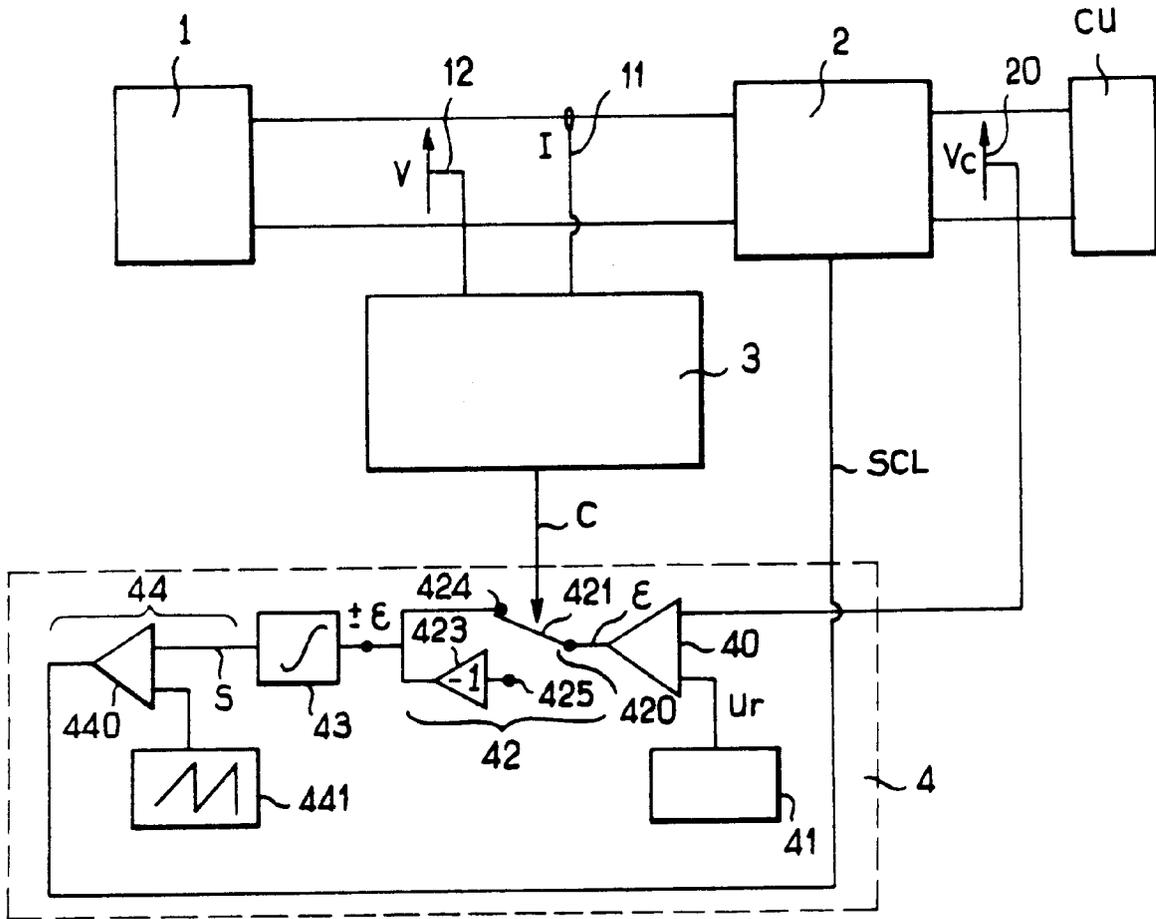


FIG. 2a

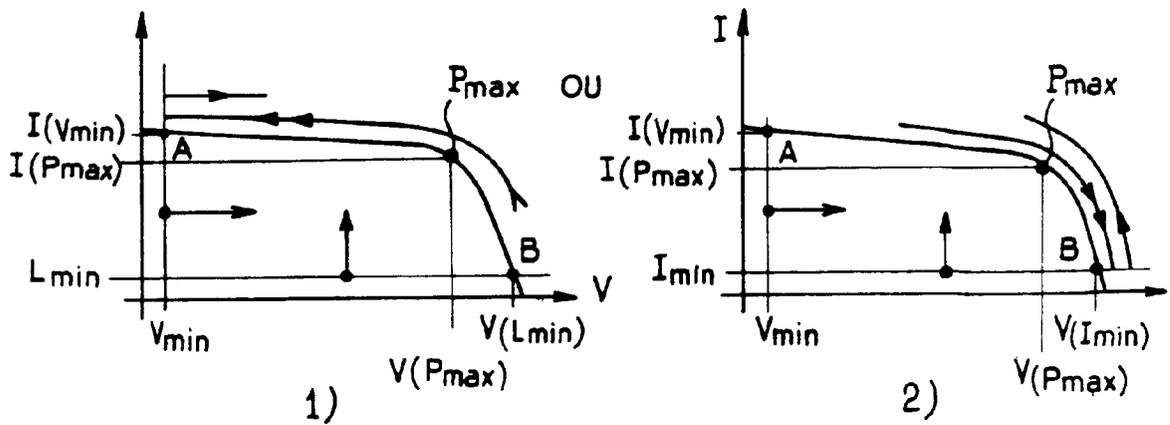
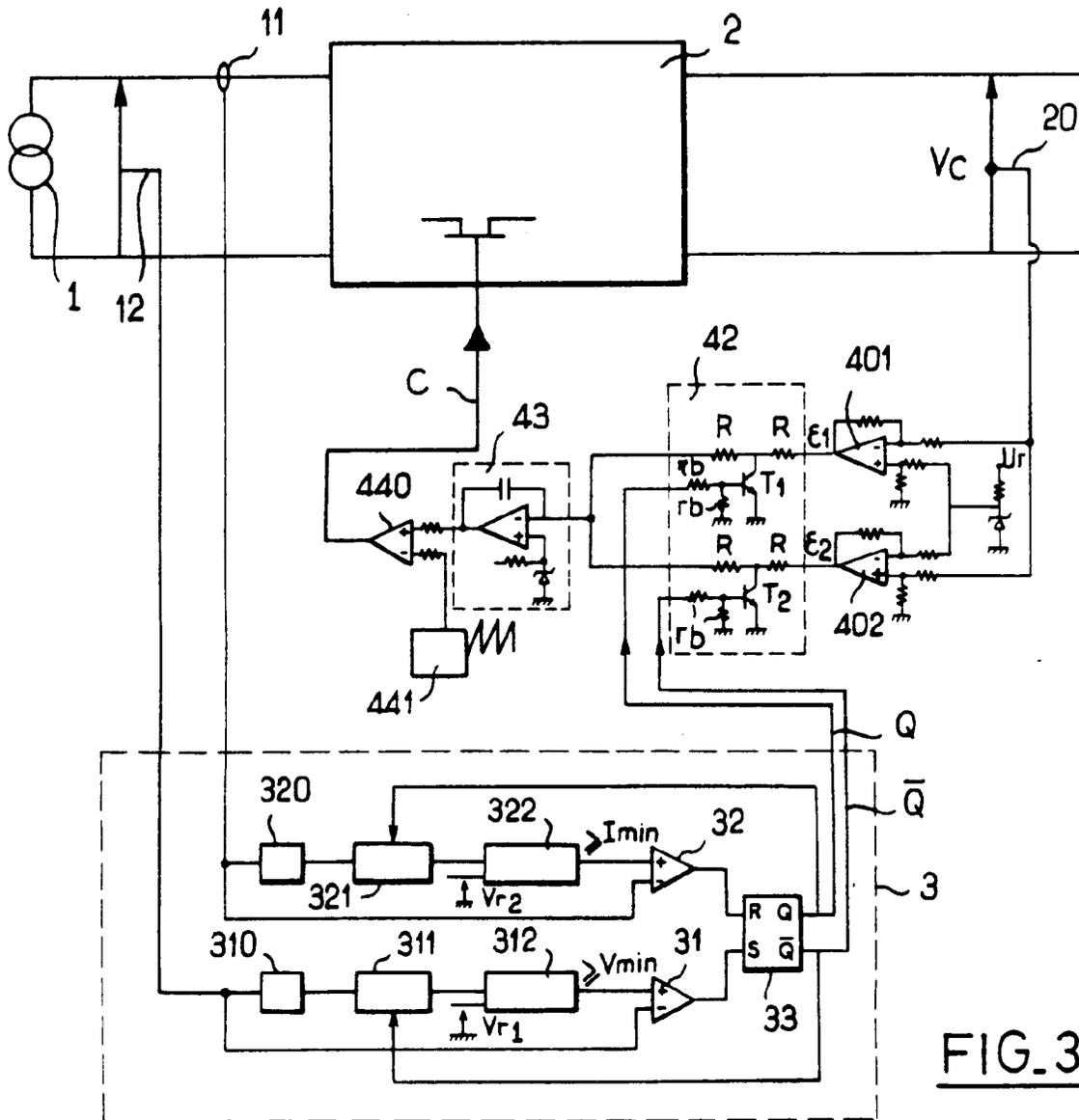
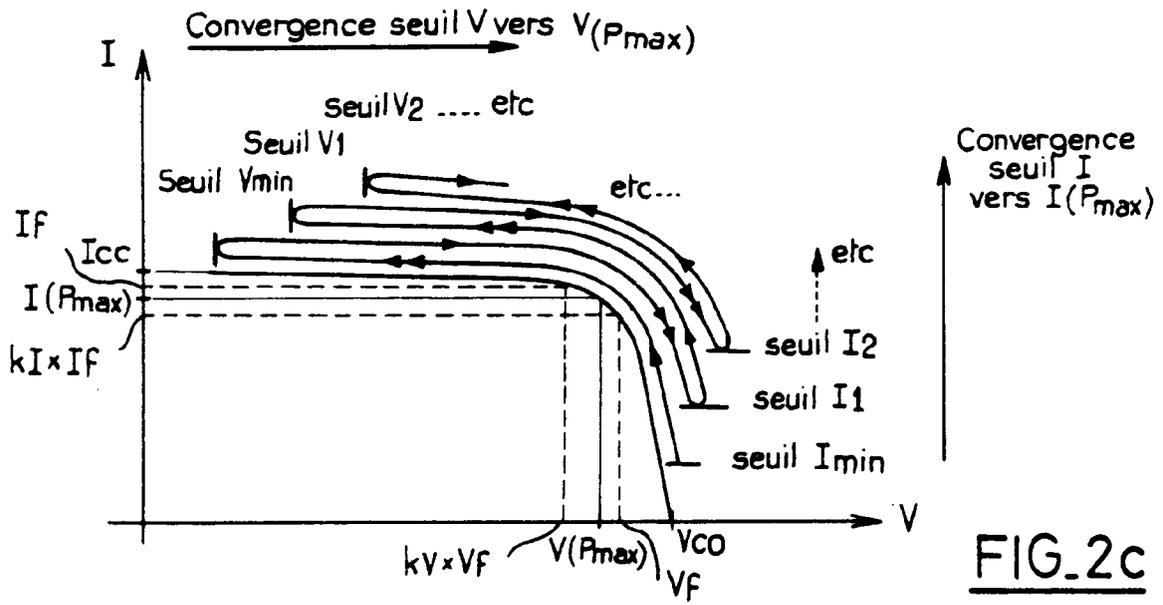


FIG. 2b



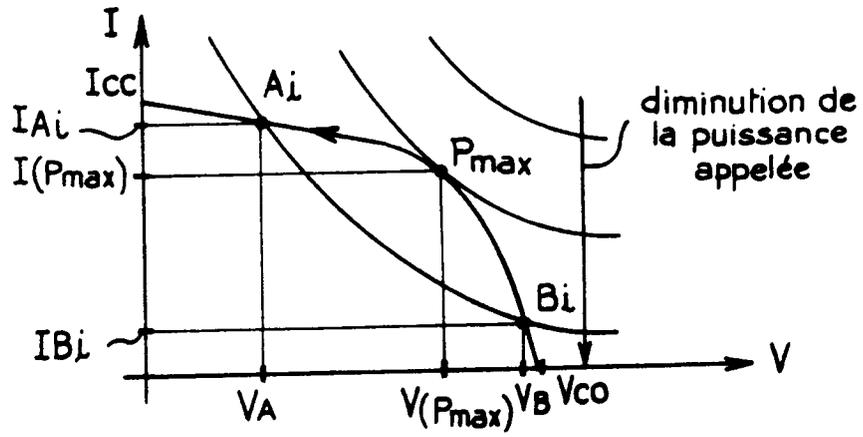


FIG. 3b

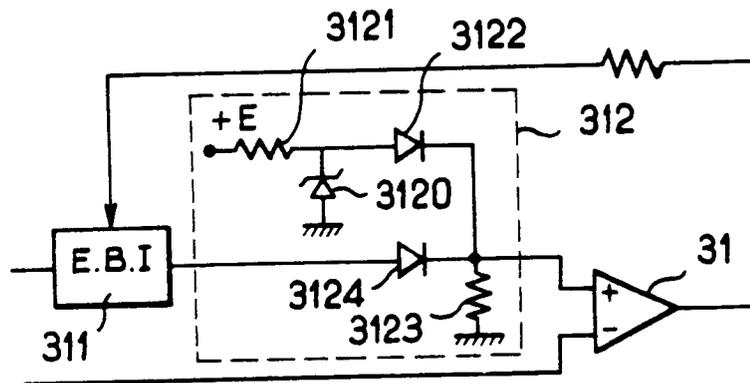


FIG. 4a

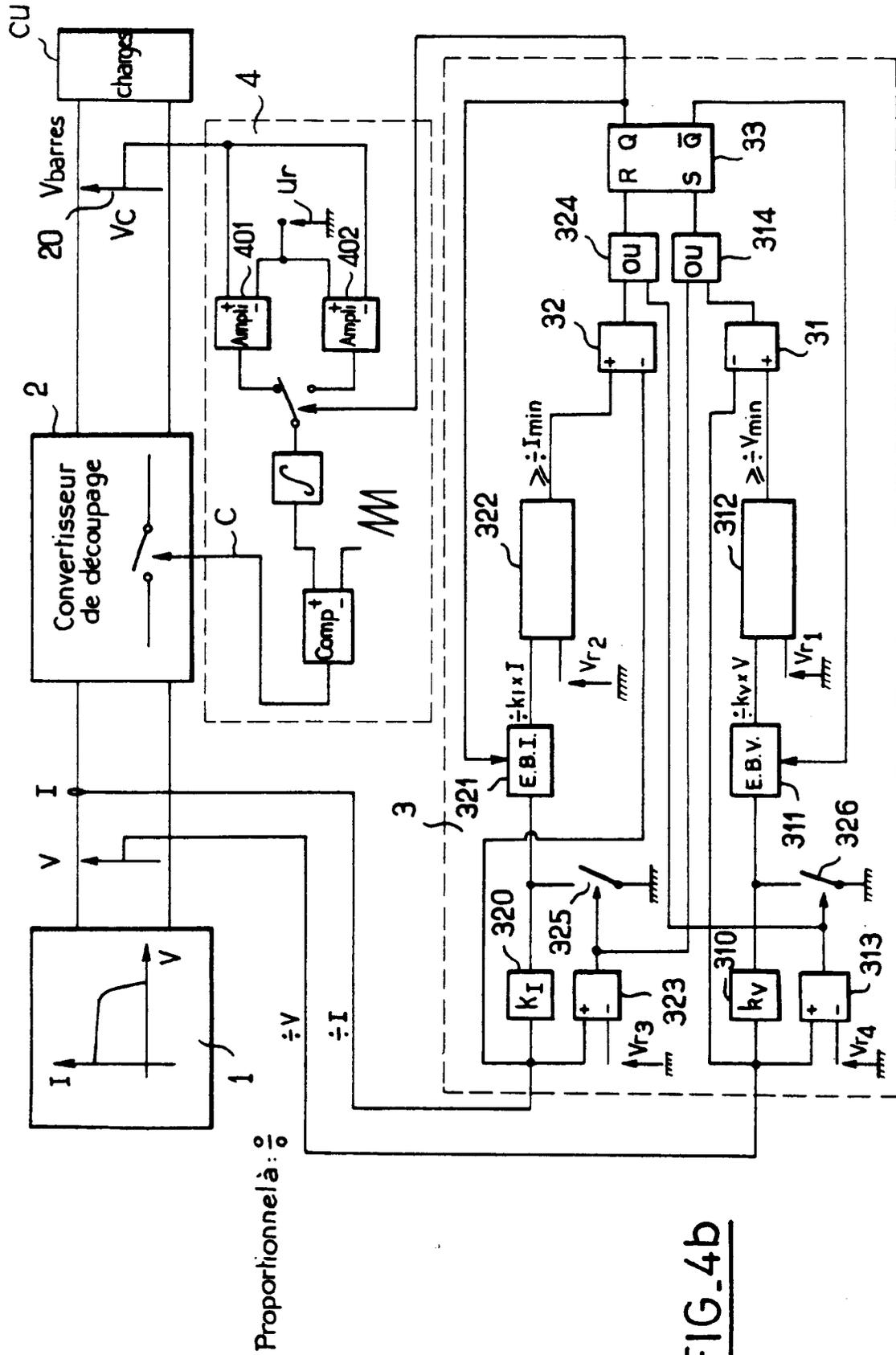
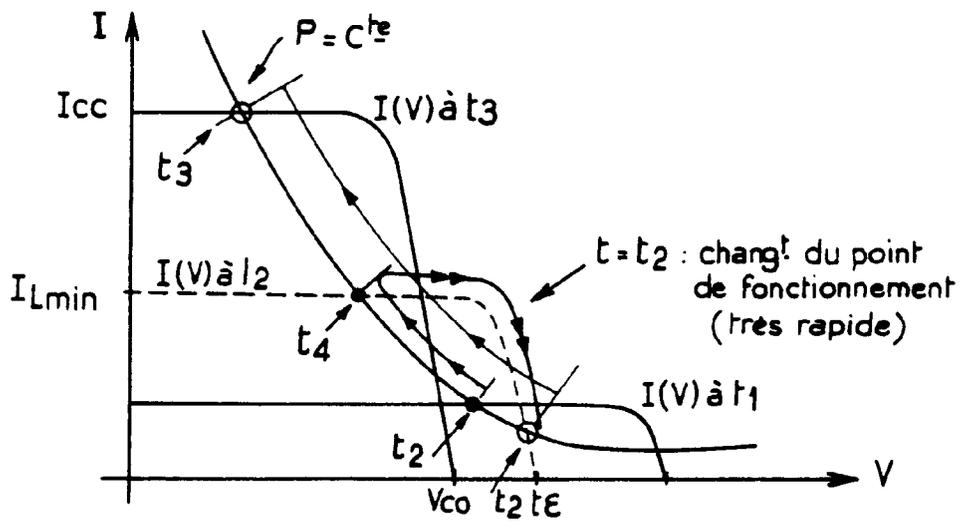
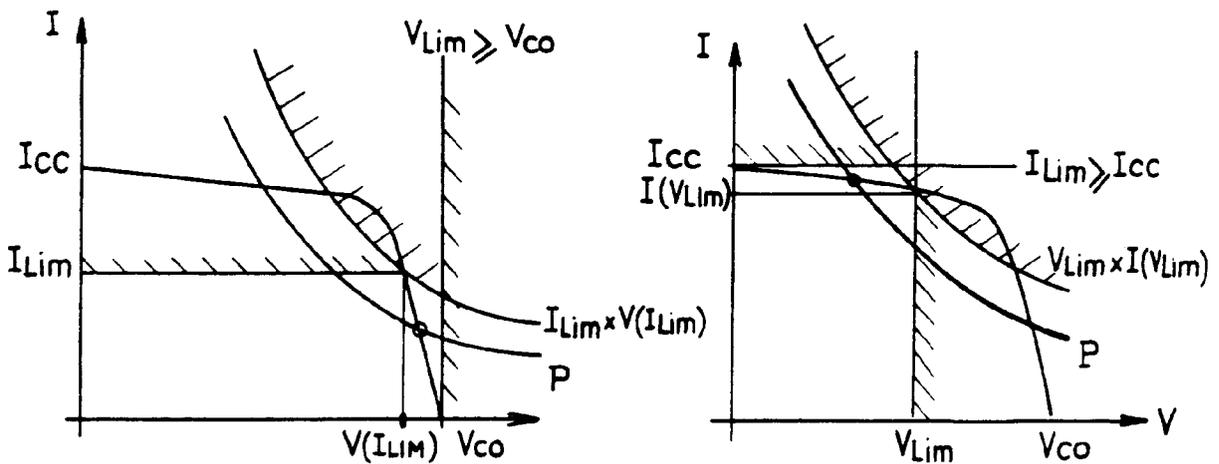


FIG. 4b



date: t_1 : caract. $I(V)$ du générateur solaire froid et peu éclairé, $t_1 < t_2 < t_3$
 t_2 : _____ dans des conditions intermédiaires
 t_3 : _____ plus chaud et plus éclairé.

FIG_4c



FIG_4d

FIG_4e

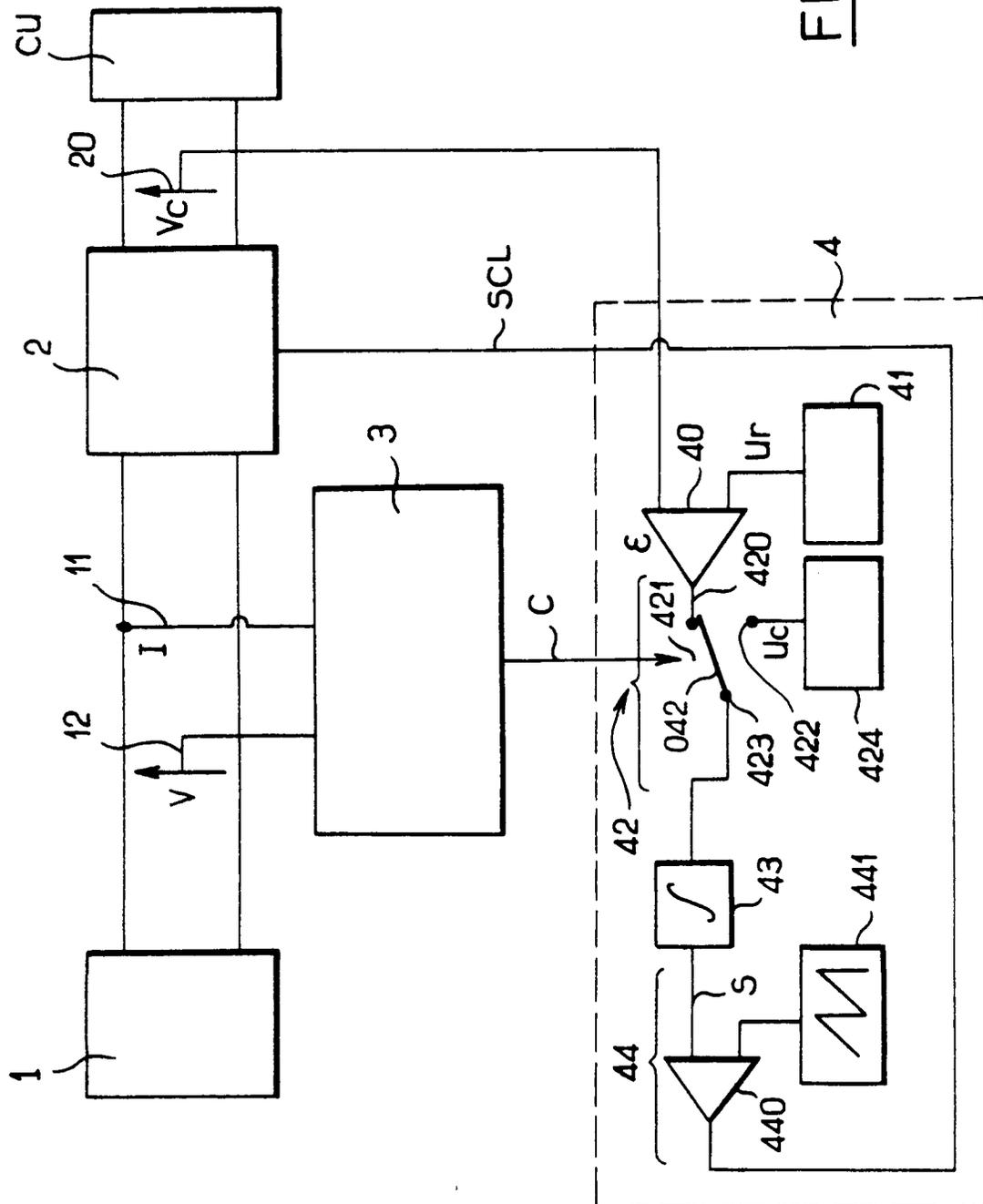
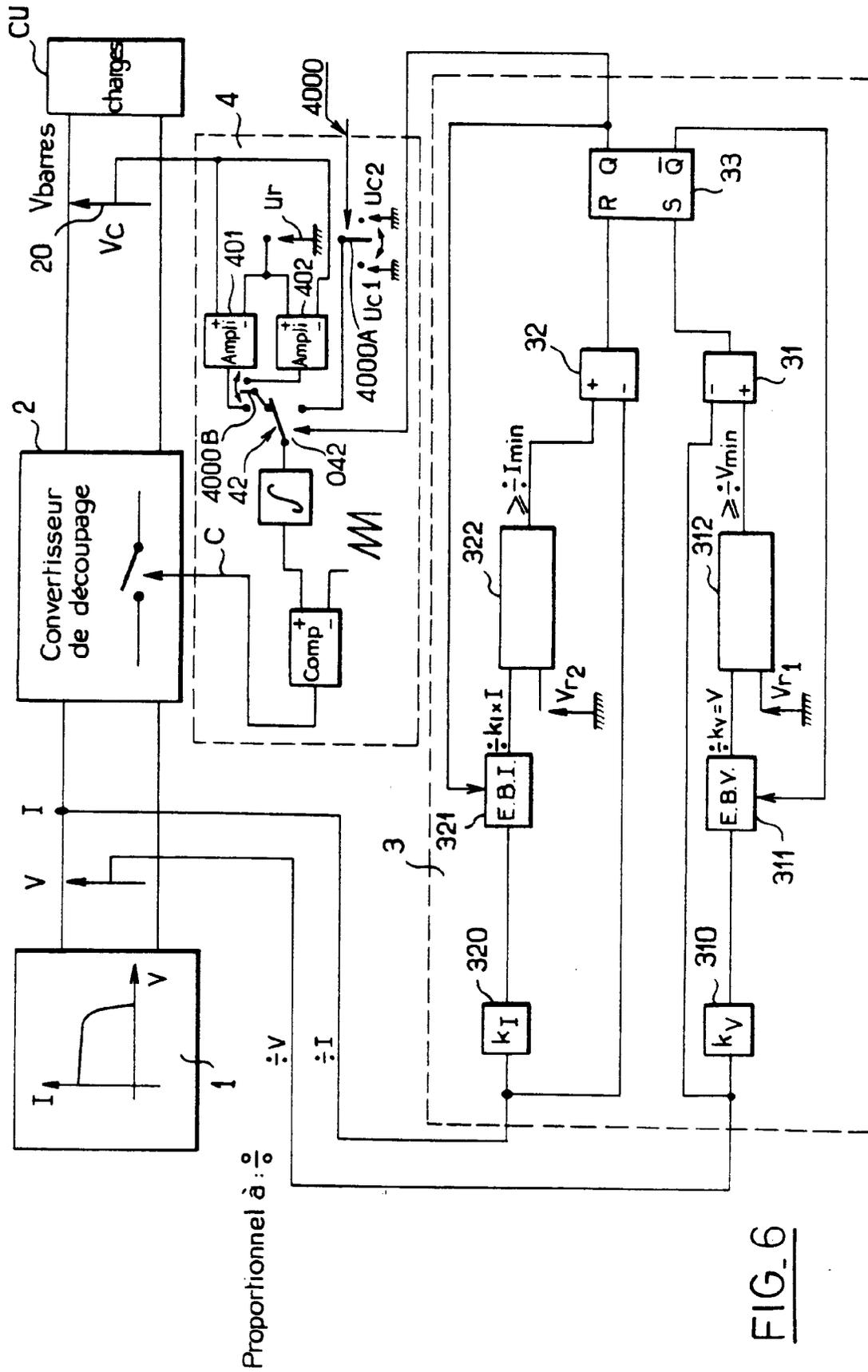


FIG. 5



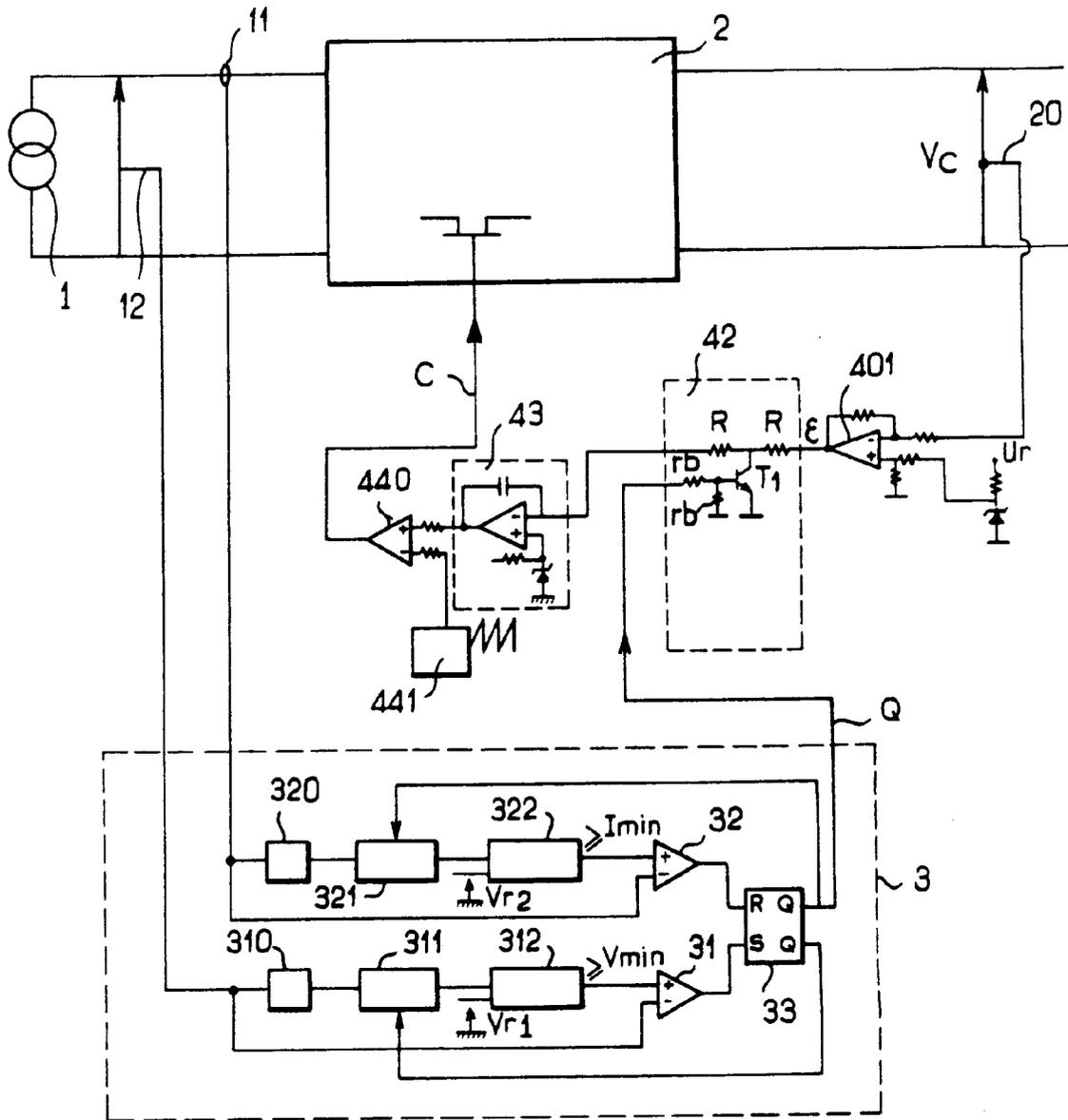


FIG. 7