



(51) Classification internationale des brevets :
H02M 1/088 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2009/066648

(22) Date de dépôt international :
8 décembre 2009 (08.12.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
08 58391 9 décembre 2008 (09.12.2008) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
AREVA T&D SAS [FR/FR]; Tour Areva, 1, place Jean
Millier, F-92084 Paris La Defense Cedex (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) :
COURAULT, Jacques [FR/FR]; 10 bis rue Pasteur,
F-77250 Veneux Les Sablons (FR).

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; Brevaux, 3,
rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)

(54) Title : CIRCUIT FOR CONTROLLING THYRISTOR ARMS, AND RELATED POWER SUPPLY CIRCUIT

(54) Titre : CIRCUIT DE COMMANDE DE BRAS DE THYRISTORS ET CIRCUIT D'ALIMENTATION ASSOCIE

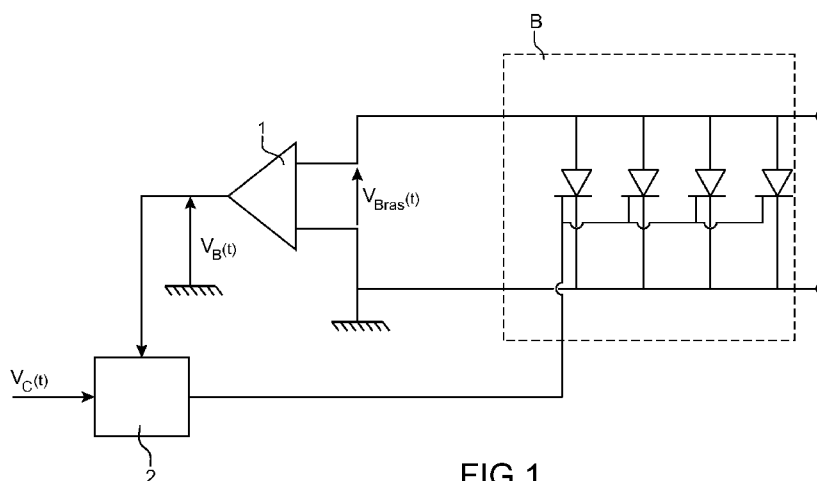


FIG.1

(57) Abstract : The invention relates to a circuit for controlling thyristor arms, including: an amplifier for a gain greater than or equal to 1 (1) that amplifies a voltage ($V_{Bras}(t)$) sampled at the terminals of the thyristor arms and provides an amplified arm voltage ($V_B(t)$); and a comparator (2) for comparing the voltage supplied by the amplifier with a reference voltage ($V_C(t)$) and for supplying a pulse as soon as the voltage supplied by the amplifier is substantially equal to the reference voltage, the pulse defining a control signal applied after amplification on the thyristor triggers of the thyristor arms. The invention can be used in DC power supply circuits for aluminium and chlorine electrolysis.

(57) Abrégé : L' invention concerne un circuit de commande

[Suite sur la page suivante]



de bras de thyristors qui comprend : - un amplificateur de gain supérieur ou égal à 1 (1) qui amplifie une tension ($V_{\text{Bras}}(t)$) prélevée aux bornes du bras de thyristors et qui délivre une tension de bras amplifiée ($V_B(t)$), et - un comparateur (2) qui compare la tension délivrée par l'amplificateur avec une tension de référence ($V_r(t)$) et qui délivre une impulsion dès lors que la tension délivrée par l'amplificateur est sensiblement égale à la tension de référence, l'impulsion constituant un signal de commande appliqué, après amplification, sur les gâchettes des thyristors du bras de thyristors. Application aux circuits d'alimentation en courant continu pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore.

**CIRCUIT DE COMMANDE DE BRAS DE THYRISTORS
ET CIRCUIT D'ALIMENTATION ASSOCIE**

DESCRIPTION

5

Domaine technique et art antérieur

L'invention concerne un circuit de commande de bras de thyristors en parallèle. L'invention concerne également un circuit d'alimentation en courant continu pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore qui comprend au moins un bras de thyristors commandé par un circuit de commande de bras de thyristors de l'invention. Le circuit de commande de bras de thyristors de l'invention est avantageusement dépourvu de tout circuit particulièrement dédié à la synchronisation.

Un thyristor est un interrupteur électronique semi-conducteur commandable à l'allumage. Un thyristor comprend trois bornes : une gâchette, une cathode et une anode. Une impulsion de commande appliquée sur la gâchette du thyristor provoque une conduction franche et brutale de courant entre l'anode et la cathode.

L'invention s'applique à tout type de redresseur commandé à thyristors et, plus particulièrement, aux redresseurs à thyristors à faible variation de la tension continue.

Le facteur de puissance d'un redresseur à thyristors de type pont de Graëtz s'écrit :

30

$$\cos \varphi = \cos \alpha - \pi X / 6,$$

où α est l'angle d'amorçage du redresseur et X la réactance de fuite du transformateur d'alimentation du redresseur. Idéalement, un facteur de puissance maximal est donc obtenu pour un angle d'amorçage nul ($\alpha=0$).

5 Selon l'art connu, des systèmes de synchronisation sont utilisés pour minimiser les angles d'amorçage.

Un système de synchronisation connu est basé sur la prise des tensions au primaire du transformateur. Un tel système nécessite l'ajout de transformateurs auxiliaires munis de leurs protections spécifiques dont le coût n'est pas négligeable. Par ailleurs, la somme des déphasages qui résultent de la présence des différents transformateurs nuit gravement à la précision de la mesure des passages par zéro de la tension de synchronisation.

A titre d'illustration, un tel système de synchronisation est divulgué dans le brevet US 3 728 557. La synchronisation du système de commande de l'angle d'amorçage des thyristors est ici effectuée à partir des impulsions délivrées par un générateur d'impulsions. Dans un tel système de commande, la synchronisation s'effectue avec prélèvement puis filtrage de l'image de la tension alternative réseau sur le circuit de puissance, comparaison avec une tension de commande, traitement du signal issu de la comparaison pour obtenir un signal logique 1 de durée égale à 120° et obtention des impulsions en sortie du générateur d'impulsions. Un inconvénient de ce type de synchronisation est de nécessiter de nombreux circuits pour l'obtention d'un signal de synchronisation.

L'invention ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

5 Exposé de l'invention

En effet, l'invention concerne un circuit de commande de bras de thyristors qui comprend :

- un amplificateur de gain supérieur ou égal à 1 qui amplifie une tension prélevée aux bornes du bras de
10 thyristors et qui délivre une tension de bras amplifiée, et
- un comparateur qui compare la tension délivrée par l'amplificateur avec une tension de référence et qui délivre une impulsion dès lors que la tension
15 délivrée par l'amplificateur est sensiblement égale à la tension de référence, l'impulsion constituant un signal de commande appliqué, après amplification, sur les gâchettes des thyristors du bras de thyristors.

L'invention concerne également un circuit
20 d'alimentation en courant continu pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore qui comprend au moins un bras de thyristors commandé par un circuit de commande de bras de thyristors selon l'invention.

Selon l'invention, la synchronisation du
25 système de commande de l'angle d'amorçage des thyristors est avantageusement effectuée directement par le signal issu de la comparaison de la tension amplifiée prélevée aux bornes du bras de thyristors et d'un signal de référence.

30 Une telle synchronisation s'applique de façon particulièrement avantageuse aux systèmes qui

nécessitent une faible variation d'angle de commande de thyristors, en partant d'un angle de commande correspondant à un fonctionnement des thyristors en diode, c'est-à-dire sensiblement 0° , ce qui est le cas des circuits d'alimentation en courant continu pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore.

Brève description des figures

La figure 1 représente un circuit de commande de bras de thyristors selon l'invention ;

La figure 2 représente des courbes qui illustrent le fonctionnement d'un bras de thyristors en fonction d'un signal de commande délivré par le circuit de commande de l'invention ;

Sur toutes les figures, les mêmes références désignent les mêmes éléments.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

La figure 1 représente un circuit de commande de bras de thyristors selon l'invention.

Le circuit de commande comprend un circuit d'amplification 1 de gain supérieur ou égal à 1 et un comparateur 2. La tension $V_{\text{bras}}(t)$ prélevée aux bornes d'un bras de thyristors B est amplifiée par l'amplificateur 1 qui délivre une tension $V_B(t)$. La tension $V_B(t)$ est alors comparée à une tension de référence $V_C(t)$ par le comparateur 2. Dès que la tension $V_B(t)$ est égale à la tension $V_C(t)$, le comparateur 2 délivre une impulsion qui est appliquée sur la gâchette des thyristors, laquelle impulsion

déclenche la conduction des thyristors. La tension de référence $V_c(t)$ est, par exemple, le signal de commande qui serait appliqué sur les gâchettes des thyristors en l'absence du dispositif de commande de l'invention. La tension $V_c(t)$ peut également être une valeur de tension continue ou un signal de commande basse fréquence quelconque tel que, par exemple, le signal issu d'un régulateur de courant. La fréquence du signal de référence peut varier de façon aléatoire entre zéro et la valeur imposée par le circuit de régulation de commande, lui-même étant dépendant de la rapidité d'évolution de sa consigne de commande et des perturbations éventuelles du réseau d'alimentation du circuit de redressement à thyristors. A titre d'exemple non limitatif, la plage d'évolution de la fréquence du signal de référence peut ainsi varier aléatoirement de 0 à 150 Hz dans le cas d'un réseau à 50 Hz ou 60 Hz. D'autres plages d'évolution de la fréquence du signal de référence sont toutefois possibles aussi bien dans le cas d'un réseau à 50 Hz ou 60 Hz, que dans le cas d'un réseau de fréquence supérieure à 60 Hz. La tension de référence peut également être un signal de secours appliqué manuellement qui vient se substituer au signal de commande précité, défaillant.

La figure 2 illustre, à titre d'exemple non limitatif, les tensions mises en œuvre, en fonction du temps, dans le cadre de l'invention pour une structure dodécaphasée ayant deux ponts de Graëtz hexaphasés en parallèle. Trois courbes de tension sont représentées sur la figure 2, à savoir :

- la courbe $V_B(t)$ qui représente la tension délivrée par l'amplificateur 1 ;
- la courbe $V_C(t)$ qui représente la tension de référence à laquelle est comparée à la tension
5 $V_B(t)$; et
- la courbe $I(t)$ qui représente les impulsions de commande délivrées par le comparateur et qui sont appliquées sur les gâchettes des thyristors.

La tension $V_C(t)$ à laquelle est comparée la
10 tension $V_B(t)$ est ici, par exemple, une tension sinusoïdale de basse fréquence. Le bras de thyristors est amorcé dès lors que la tension $V_B(t)$ atteint la tension $V_C(t)$, ce qui conduit à un angle d'amorçage de l'ordre du degré.

15 Le circuit de commande de l'invention ne permet pas d'obtenir une tension nulle en sortie des ponts de Graëtz. A titre d'exemple non limitatif, le circuit de commande de l'invention trouve ainsi une application particulièrement avantageuse dans les
20 circuits d'alimentation en courant continu qui sont utilisées pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore. Les alimentations à courant continu utilisées pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore comprennent des sous-ensembles « diodes + réactances
25 auto-saturables » qui sont mis en parallèle. Le réglage de la tension continue est réalisé à l'aide des réactances saturables qui retardent, en fonction de leur dimensionnement, la conduction des diodes. Il en résulte la variation souhaitée de la tension continue.
30 En fonction des installations, cette variation de tension peut être comprise, par exemple, entre 30V et

60V. Les variations plus importantes de la tension continue sont réalisées au moyen de transformateurs régleurs en charge.

De façon particulièrement avantageuse, les sous-ensembles « diodes + réactances auto-saturables » sont remplacés, dans le cadre de l'invention, par des thyristors commandés par des circuits de commande conformes au circuit de commande de l'invention. La présence de thyristors commandés par des circuits de commande de l'invention apporte avantageusement un gain au niveau de la puissance réactive consommée et améliore très sensiblement les conditions de blocage du courant, réduisant ainsi les contraintes sur les organes mécaniques de coupure. Il est ainsi possible d'obtenir une commande qui, pour des angles d'amorçage typiquement compris entre 2° et 70° , s'affranchit de tout circuit particulièrement dédié à la synchronisation.

Un ultime fonctionnement dégradé d'une alimentation de l'art antérieur à « diodes + réactances auto-saturables » est un fonctionnement sans contrôle, le courant étant réglé par un opérateur en modifiant la charge de chaque groupe de diodes. A la place de sous ensembles « diodes + réactances auto-saturables », un ensemble de thyristors commandés par un circuit de commande de l'invention conduit également à un fonctionnement des ponts de Graëtz ou de tout autre redresseur (par exemple un redresseur double étoile avec interphase) sans contrôle et sans circuit particulièrement dédié à la synchronisation.

REVENDICATIONS

1. Circuit de commande de bras de thyristors qui comprend :

- 5 - un amplificateur de gain supérieur ou égal à 1 (1) qui amplifie une tension ($V_{\text{Bras}}(t)$) prélevée aux bornes du bras de thyristors et qui délivre une tension de bras amplifiée ($V_B(t)$), et
- 10 - un comparateur (2) qui compare la tension délivrée par l'amplificateur avec une tension de référence ($V_C(t)$) et qui délivre une impulsion dès lors que la tension délivrée par l'amplificateur est sensiblement égale à la tension de référence, l'impulsion constituant un signal de commande appliqué, après
- 15 amplification, sur les gâchettes des thyristors du bras de thyristors.

2. Circuit de commande selon la revendication 1, dans lequel la tension de référence ($V_C(t)$) est une tension continue ou un signal basse

20 fréquence quelconque.

3. Circuit de commande selon la revendication 2, dans lequel le signal basse

25 fréquence quelconque est issu d'un régulateur de courant.

4. Circuit d'alimentation en courant continu pour l'électrolyse de l'aluminium et du chlore, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un bras de

30 thyristors commandé par un circuit de commande de bras

de thyristors conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 3.

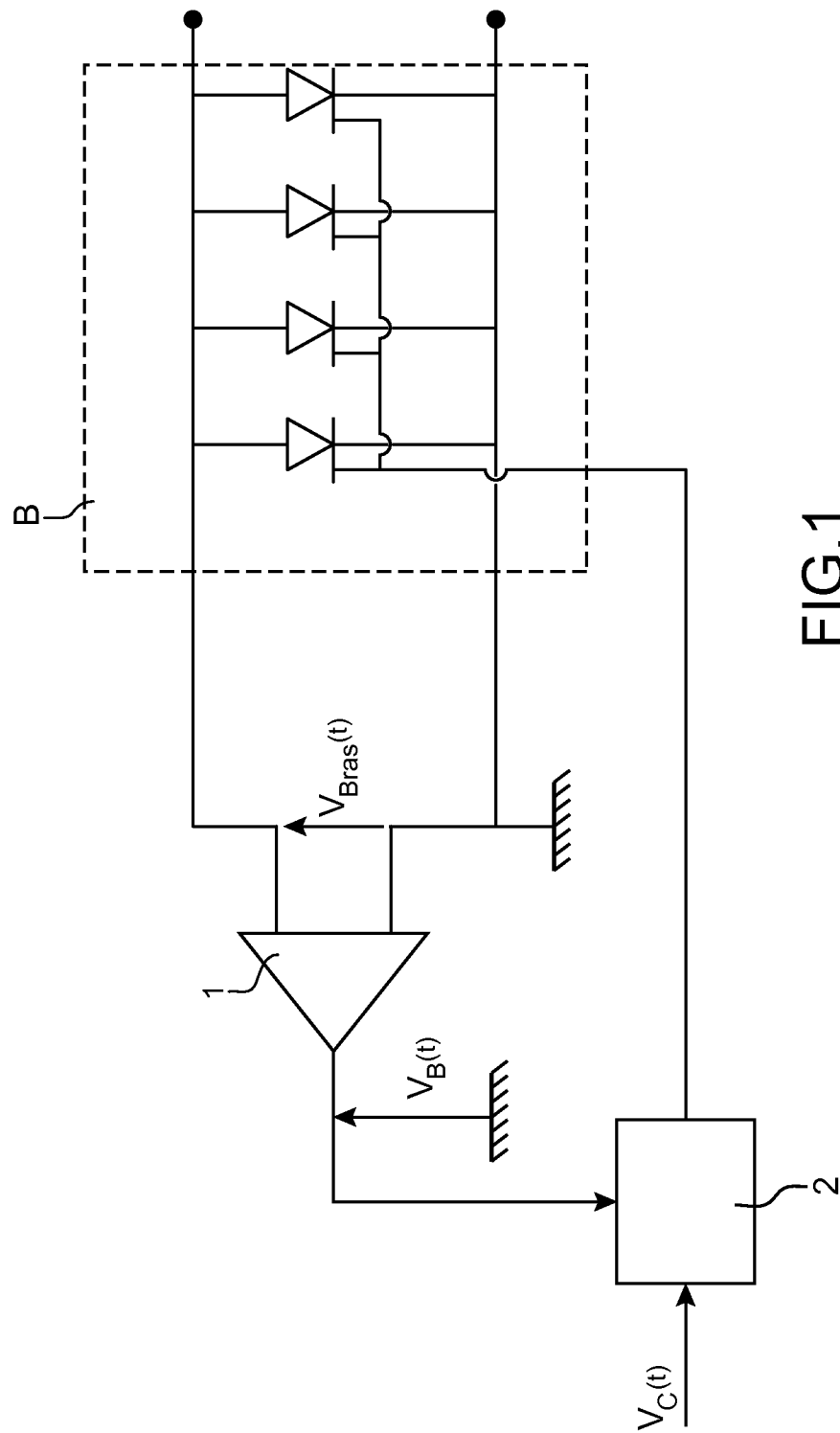


FIG.1

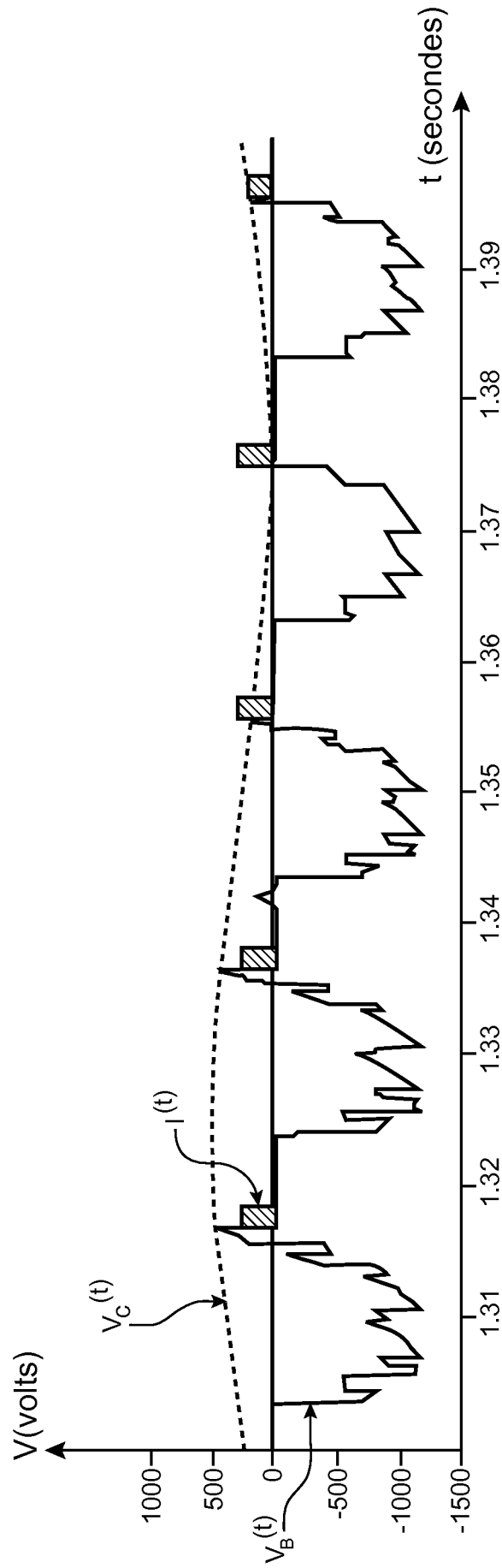


FIG.2