(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 686 746 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
22.04.2015 Bulletin 2015/17

(21) Numéro de dépôt: **12709635.2**

(22) Date de dépôt: **19.03.2012**

(51) Int Cl.:
G05F 1/32 *(2006.01)* ***G05F 1/325*** *(2006.01)*
H01F 29/14 *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2012/054806

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2012/126884 (27.09.2012 Gazette 2012/39)

(54) RÉGULATEUR DE TENSION SÉRIE À ÉLECTRONIQUE PROTÉGÉE DES COURTS-CIRCUITS PAR UN DÉCOUPLAGE PAR CIRCUIT MAGNÉTIQUE À TROUS ET FENÊTRES

SERIENSPANNUNGSREGLER MIT ELEKTRONIK MIT KURZSCHLUSSSCHUTZ DURCH MAGNETISCHE SCHALTBASIERTE ENTKOPPLUNG MIT LÖCHERN UND FENSTERN

SERIES VOLTAGE REGULATOR WITH ELECTRONICS PROTECTED AGAINST SHORT-CIRCUITS BY MAGNETIC CIRCUIT-BASED DECOUPLING USING HOLES AND WINDOWS

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **18.03.2011 FR 1152235**

(43) Date de publication de la demande:
22.01.2014 Bulletin 2014/04

(73) Titulaires:
- **Electricité de France**
  75008 Paris (FR)
- **Universite D'Artois**
  62000 Arras (FR)

(72) Inventeurs:
- **GUUINIC, Philippe**
  F-75014 Paris (FR)
- **BRUDNY, Jean-François**
  F-59830 Wannehain (FR)
- **COSTAN, Valentin**
  F-92120 Montrouge (FR)
- **DESSOUDE, Maxime**
  F-95880 Enghien-les-Bains (FR)

(74) Mandataire: **Regimbeau**
20, rue de Chazelles
75847 Paris Cedex 17 (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-95/24005 **US-A1- 2003 076 202**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 686 746 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

[0001] La présente invention concerne un régulateur de tension, adapté pour être branché en série entre d'une part une source alternative et d'autre part une charge, comportant un circuit magnétique comportant un premier noyau et un deuxième noyau parallèles entre eux, au moins une première bobine inductive bobinée autour du premier noyau et reliée d'une part à la source alternative et d'autre part à la charge, et au moins un convertisseur de tension comportant une deuxième bobine bobinée autour du deuxième noyau.

ETAT DE L'ART

[0002] Comme le montre la figure 1, on connaît des réseaux électriques alternatifs (par exemple de transport en haute tension, de distribution en moyenne et basse tensions, ainsi que les réseaux industriels d'alimentation interne des usines) qui comportent au moins un régulateur 10 de tension, adapté pour être branché en série entre d'une part une source S alternative et d'autre part une charge C.

[0003] En effet, la tension des réseaux est fréquemment dégradée, d'autant plus que l'on s'éloigne de la source (comme par exemple une chute de tension moyenne, un papillotement (« flicker » en anglais), une génération d'harmoniques ou des creux de tension), et le régulateur 10 connu permet une régulation de tension, afin de corriger la tension des charges raccordées en bout de réseau.

[0004] A cet effet, le régulateur 10 connu comporte un circuit magnétique 2 comportant un premier noyau 21 et un deuxième noyau 22, parallèles entre eux. Il comporte également au moins une première bobine 1 inductive bobinée autour du premier noyau 21 et reliée d'une part à la source S et d'autre part à la charge C. Il comporte enfin au moins un convertisseur 4 électronique de tension comportant une deuxième bobine 7 bobinée autour du deuxième noyau 22. Un tel régulateur est décrit dans le document US 2003/0076202 A1.

[0005] Le convertisseur 4 permet de réguler la tension aux bornes Bc de la charge lorsqu'il est couplé, via la deuxième bobine 7, à la première bobine 1 qui présente une inductance L.

[0006] En régime normal, c'est-à-dire sans défaut dans le réseau, le flux magnétique F_A de la première bobine 1 se ferme dans le circuit 2 sur le premier noyau 21 et le deuxième noyau 22.

[0007] Dans ce cas, l'ensemble formé par la première bobine 1, le circuit 2 et la deuxième bobine 7 constitue un transformateur de tension qui couple le convertisseur 4 avec la première bobine 1 en série et en amont de la charge C.

[0008] Le convertisseur 4 peut donc réguler la tension aux bornes Bc de la charge C.

[0009] Les réseaux électriques précités sont inévitablement l'objet de défauts D (accident, défaillance de matériel, foudre... et d'une manière générale toute surintensité (court-circuit) qui peut traverser le régulateur), d'autant que depuis une dizaine d'années, les risques de défaut augmentent du fait du vieillissement des réseaux.

[0010] Simultanément, le raccordement aux réseaux de nouveaux types d'installations, comme des installations décentralisées de production d'énergie (les fermes éoliennes par exemple), fait augmenter la puissance des courts-circuits dans les réseaux en cas de défaut. L'amplitude des courants de court-circuit est ainsi de l'ordre de quelques kA jusqu'à plusieurs dizaines ou centaines de kA, selon les types de réseaux. Les courants de forte amplitude peuvent endommager les réseaux, et notamment le convertisseur 4.

[0011] Une solution connue consiste à prévoir un dispositif de découplage électromécanique du convertisseur 4 et de la première bobine 1.

[0012] Cette solution n'est cependant pas optimale. En effet dans le cas d'un convertisseur de tension raccordé en série à l'aide d'un transformateur connu, la pleine tension de défaut apparaît très rapidement à ses bornes, en cas de défaut, ce qui peut l'endommager.

[0013] Le convertisseur doit donc être découplé par des interrupteurs.

[0014] Prenons, à titre d'exemple, un réseau connu triphasé de 20 kV, avec une tension monophasée de l'ordre de 11,5 kV. Le courant nominal correspondant à une charge C triphasée de 1 MVA est de l'ordre de 30A, tandis que l'amplitude du court-circuit peut atteindre plusieurs centaines d'Ampères (10 fois le courant nominal), voire plusieurs milliers d'Ampères.

[0015] Or une régulation de tension de plus ou moins 10% correspond à une variation de tension monophasée de l'ordre de 1 kV, soit une puissance permanente du convertisseur 4 de l'ordre de 30kVA.

[0016] Pour être opérationnels pendant toute la durée d'un défaut de l'ordre de dix fois le courant nominal, les caractéristiques des interrupteurs du convertisseur doivent être telles qu'ils puissent véhiculer une puissance monophasée de l'ordre 300kVA, voire plus en cas de courts-circuits de plusieurs milliers d'Ampères. De tels interrupteurs sont par conséquents très onéreux.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0017] L'invention propose de pallier au moins un de ces inconvénients.

[0018] A cet effet, l'invention propose un régulateur de tension, adapté pour être branché en série entre d'une part une source alternative et d'autre part une charge, comportant
un circuit magnétique comportant un premier noyau et un deuxième noyau,
au moins une première bobine inductive bobinée au moins partiellement autour du premier noyau et reliée d'une part à la source alternative et d'autre part à la charge, et
au moins un convertisseur de tension comportant une deuxième bobine bobinée autour du deuxième noyau,
le régulateur étant caractérisé en ce que
le circuit comporte
un troisième noyau de découplage, et
un entrefer virtuel, l'entrefer virtuel comportant

- au moins une paire de trous dans le troisième noyau de découplage, et
- un bobinage se bobinant entre les trous de chaque paire de trous, et relié à une source de courant continu,

le régulateur fonctionnant entre au moins deux états, à savoir :

un premier état dans lequel l'entrefer virtuel est ouvert en saturant magnétiquement le troisième noyau de découplage, le flux magnétique dans le troisième noyau étant faible, et la deuxième bobine du convertisseur étant couplée à la première bobine, de sorte que le régulateur puisse réguler une tension dans la charge, et
un deuxième état dans lequel l'entrefer virtuel est fermé, le flux magnétique dans l'entrefer virtuel du troisième noyau étant important, de sorte que le convertisseur soit découplé de la première bobine.

[0019] L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- le régulateur est en outre adapté pour fonctionner selon un troisième état dans lequel l'entrefer virtuel est partiellement ouvert en désaturant partiellement le troisième noyau, de sorte que le convertisseur soit partiellement découplé de la première bobine ;
- il comporte une commande passive ou active ou intelligente de l'ouverture, totale ou partielle, ou de la fermeture, totale ou partielle, de l'entrefer virtuel ;
- la commande passive comporte une liaison permanente entre la source de courant continu et le bobinage ;
- la commande active comporte un interrupteur commandé par un détecteur entre la source de courant continu et le bobinage ;
- la commande intelligente commande une source de courant continu comportant un variateur relié au bobinage ;
- le premier noyau comporte
  - une réduction de section, ou
  - un noyau complémentaire relié par un entrefer mécanique au circuit magnétique ;
- la première bobine se compose d'une première partie, s'enroulant autour du premier noyau, et d'une deuxième partie, s'enroulant autour d'une partie du circuit comprise entre le premier noyau et le troisième noyau, le régulateur présentant ainsi également une fonction de limiteur de courant ;
- le circuit comporte un circuit magnétique auxiliaire comportant un cadre comportant au moins un noyau et un entrefer mécanique, la première bobine s'enroulant autour du premier noyau et du noyau du cadre, le régulateur présentant ainsi également une fonction de limiteur de courant,
- le régulateur est adapté pour être mis en série avec une bobine limitatrice de courant.

[0020] L'invention présente de nombreux avantages.

[0021] L'invention fournit un régulateur de tension permettant de réguler une tension aux bornes d'une charge sur le réseau en régime normal, et permettant de découpler du réseau un convertisseur du régulateur et une source de commande du régulateur, pour les protéger des courants de court-circuit en cas de défaut. Le régulateur de l'invention retrouve cependant sa fonction de régulation de tension, sans aucune maintenance, alors que réseau revient à son régime normal.

[0022] Dans le cas où il comporte de plus une fonction de limitation de courant de défaut, les grandes performances du régulateur de l'invention permettent de réduire d'autant les performances des organes de coupure qui lui sont associés

dans le réseau. L'invention permet donc de fournir un dispositif de protection des réseaux peu onéreux, notamment car il peut ne pas comporter de matériau supraconducteur.

[0023] Le régulateur peut comporter une commande passive ou active, voire intelligente, selon le type de réseau, le type de dispositif de protection et l'amplitude des courants alternatifs normaux, transitoires et de défauts. Cette commande est réalisée à partir d'un courant continu injecté dans un bobinage spécifique destiné à saturer magnétiquement, de manière locale, le circuit magnétique.

[0024] L'invention est telle que les ampères-tours continus alimentant le bobinage de saturation du circuit magnétique du régulateur soient faibles, puisque la saturation locale du circuit magnétique (pour former un Entrefer Virtuel EV) est obtenue facilement (le périmètre des trous sur lesquels le bobinage est bobiné est faible). A cet égard, un matériau supraconducteur peut être utilisé pour le bobinage auxiliaire, mais il n'est pas indispensable.

[0025] La constante de temps du bobinage auxiliaire de saturation peut être faible pour couper rapidement le courant continu et changer l'état de l'Entrefer Virtuel rapidement.

[0026] L'avantage de l'invention est que le convertisseur de tension et la source de courant continu de l'entrefer EV sont magnétiquement découplés, aussi longtemps que dure le défaut.

[0027] Lorsque l'Entrefer Virtuel est dans son état intermédiaire, tous les bobinages sont couplés.

PRESENTATION DES FIGURES

[0028] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà commentée, représente schématiquement un réseau connu comportant un régulateur de tension ;
- les figures 2A, 2B et 2C représentent schématiquement un mode de réalisation possible d'un régulateur selon l'invention, dans un réseau, avec les flux magnétiques correspondants aux différents états de l'entrefer EV ;
- les figures 3A et 3B représentent schématiquement les principes de couplage d'un mode de réalisation possible d'un régulateur selon l'invention, dans un réseau ;
- la figure 4 représente schématiquement une commande active d'un régulateur selon l'invention ;
- la figure 5 représente schématiquement une commande intelligente d'un régulateur selon l'invention ;
- la figure 6A représente l'évolution de la tension efficace du réseau côté source en fonction du temps ;
- la figure 6B représente l'évolution de la tension efficace du réseau côté charge en fonction du courant efficace de réseau ;
- la figure 7 représente schématiquement une commande d'un régulateur selon l'invention ;
- les figures 8A à 8C représentent schématiquement différents cas de variation du courant instantané en fonction du temps ;
- les figures 9A et 9B représentent schématiquement des circuits magnétiques selon l'invention ;
- les figures 10A à 10D représentent schématiquement des schémas équivalents d'un régulateur selon l'invention, en fonction du courant dans le réseau ;
- la figure 11 représente schématiquement un circuit selon l'invention composé par une superposition de tôles magnétiques ;
- la figure 12 représente schématiquement une première variante d'un mode de réalisation d'un régulateur selon l'invention, présentant ainsi une fonction de limitation du courant ;
- la figure 13 représente schématiquement une deuxième variante d'un mode de réalisation d'un régulateur selon l'invention, présentant ainsi une fonction de limitation du courant ;
- la figure 14 représente schématiquement un régulateur de tension comportant également un limiteur de courant ; et
- la figure 15 représente la limitation du courant sur une courbe de l'évolution de la tension efficace du réseau côté charge en fonction du courant efficace de réseau.

[0029] Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références numériques identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0030] Les figures 2A, 2B, 2C, 3A et 3B représentent schématiquement un mode de réalisation possible d'un régulateur 10 de tension selon l'invention.

[0031] Le régulateur 10 est adapté pour être branché en série entre d'une part une source S alternative et d'autre part une charge C.

[0032] L'ensemble formé par la source S, le régulateur 10 et la charge C forme donc un réseau électrique. Le retour du courant (normal ou de défaut) vers la source S n'est pas représenté sur les schémas simplifiés. La présente invention concerne donc un réseau alternatif, alimenté par une source S de puissance régulée en tension.

[0033] Le régulateur 10 de tension, adapté pour être branché en série, permet de corriger la tension de la charge C raccordée en bout de réseau.

[0034] Dans les développements qui suivent, pour des raisons de clarté et de simplicité d'explication, le régulateur 10 objet de l'invention se trouve entre un réseau amont qui comporte la source S de puissance (et qui peut comporter des charges non représentées sur les figures) et un réseau aval qui comporte la charge C.

[0035] Le régulateur 10 a pour fonction de réguler la tension en aval, c'est à dire et pour simplifier, aux bornes Bc d'une charge C.

[0036] On comprend que l'invention s'applique bien entendu à des réseaux réels, et notamment triphasés, où les défauts (toute surintensité ou court-circuit pouvant traverser le régulateur) se produisent entre phases et/ou entre phase et terre.

[0037] De manière classique, le régulateur 10 comporte un circuit magnétique 2 matérialisé par une plaque. La plaque peut être monobloc, ou peut comporter une superposition de tôles 28 magnétiques.

[0038] La plaque comporte des contours 25 périphériques externes, et comporte une première fenêtre 23 délimitant des contours 26 périphériques internes de la plaque, et une deuxième fenêtre 24 délimitant des contours 27 périphériques internes de la plaque.

[0039] Le circuit 2 comporte également un premier noyau 21, délimité par les contours 26 et 27 de la plaque, et un deuxième noyau 22, délimité par les contours 25 et 26 de la plaque, le premier noyau 21 et le deuxième noyau 22 étant préférentiellement mais non limitativement parallèles entre eux.

[0040] Il comporte également au moins une première bobine 1 inductive bobinée autour du premier noyau 21 et reliée d'une part à la source S et d'autre part à la charge C.

[0041] Enfin il comporte au moins un convertisseur 4 électronique de tension comportant une deuxième bobine 7 bobinée autour du deuxième noyau 22.

[0042] Le convertisseur 4 est connu de l'homme du métier et n'est pas décrit en détail dans la suite de la présente description.

[0043] On précise cependant que le convertisseur 4 est préférentiellement un convertisseur électronique à découpage, avec des composants supportant une grande puissance (notamment des transistors bipolaires à porte isolée ou « IGBT, insulated gate bipolar transistors » selon la terminologie de l'homme du métier) et des fréquences de découpage supérieures à 1 kHz.

[0044] Le circuit 2 comporte un troisième noyau 3 de découplage.

[0045] Sur un mode de réalisation particulier mais non limitatif, le troisième noyau 3 s'étend au moins partiellement d'un côté opposé au deuxième noyau 22 par rapport au premier noyau 21. Ainsi, le premier noyau 21 est situé entre le deuxième noyau 22 et le troisième noyau 3 de découplage.

[0046] Le troisième noyau 3 peut cependant se situer de manière quelconque par rapport au premier noyau 21 et au deuxième noyau 22.

[0047] Le circuit 2 comporte également un entrefer virtuel EV.

[0048] L'entrefer virtuel EV comporte

- au moins une paire 50 de trous 5 dans le troisième noyau 3 de découplage, et
- un bobinage 6 auxiliaire se bobinant entre les trous 5 de chaque paire 50 de trous 5, et relié à une source 8 de courant continu.

Du fait de son bobinage autour du premier noyau 21 et du fait qu'elle peut être parcourue par un courant alternatif, la bobine 1 peut créer dans le circuit 2 une force magnétomotrice référencée par FAt_a correspondant à des ampères-tours alternatifs. La force magnétomotrice FAt_a est d'une intensité égale au produit du nombre de spires de la bobine 1 par le courant alternatif en ampères qui les traverse.

[0049] De même, du fait de son bobinage autour du troisième noyau 3 entre les trous 5 et du fait qu'il peut être parcouru par un courant continu, le bobinage 6 auxiliaire peut créer une force magnétomotrice FAt_c correspondant à des ampères-tours continus. La force magnétomotrice FAt_c est égale au produit du nombre de spires du bobinage 6 par le courant continu en ampères qui les parcourt. La force magnétomotrice FAt_c ainsi créée par le bobinage 6 peut saturer magnétiquement le troisième noyau 3, localement au niveau de l'entrefer EV.

[0050] Les ampères-tours (At) continus alimentant le bobinage 6 sont relativement faibles. Ils sont compris entre 500 At et plusieurs milliers d'At, selon le diamètre des trous 5 et en fonction de la caractéristique de variation de l'induction magnétique B en fonction du champ magnétique H dans le circuit 2.

[0051] Il y a donc des pertes et des échauffements relativement faibles dans le bobinage 6. Si des courants beaucoup plus importants sont souhaités, le bobinage 6 peut être en matériau supraconducteur, mais cela n'est pas indispensable.

[0052] La dimension virtuelle de l'entrefer EV augmente avec la valeur des ampères-tours.

[0053] D'une manière générale, il est possible de modifier le nombre de paires 50 sur le noyau 3 (le noyau 3 peut notamment comporter une pluralité d'entrefers virtuels EV), et, au sein de chaque paire 50, de modifier la forme, le

diamètre, et la position des trous 5.

[0054] L'augmentation du nombre de trous ne modifie pas considérablement les valeurs des impédances de la bobine 1 ou du bobinage 6, ni l'ordre de grandeur du nombre d'At total nécessaire à la saturation de l'entrefer EV en fonctionnement normal. La préférence pourra répondre à des facilités de fabrication du circuit 2 ou de la bobine 1 ou du bobinage 6 ou des fonctionnalités de commande de la source 8.

[0055] Des formes rectangulaires des trous ont tendance à augmenter les courants harmoniques. Là encore, la préférence pourra répondre à des facilités de fabrication.

[0056] Le régulateur 10 selon l'invention fonctionne entre au moins deux états.

[0057] Un premier état est représenté schématiquement sur les figures 2A et 3A, et est un état dans lequel l'entrefer virtuel EV est ouvert et ouvre magnétiquement le circuit magnétique 2 en saturant magnétiquement localement le troisième noyau 3 de découplage.

[0058] Comme le montre la figure 2A, le flux magnétique dans le troisième noyau 3 est faible (flux de fuites), car il est interrompu par l'entrefer virtuel EV.

[0059] Pour réaliser la saturation locale, le bobinage auxiliaire 6 est alimenté en courant continu pour saturer le pourtour des trous 5 aménagés à l'intérieur du troisième noyau 3. Cette saturation locale est équivalente à l'ouverture du noyau 3 par un entrefer mécanique.

[0060] Au contraire, le flux magnétique F_A dans le deuxième noyau 22 est important: le convertisseur 4 est alors magnétiquement couplé à la première bobine 1, via la deuxième bobine 7, de sorte que le régulateur 10 puisse réguler une tension dans la charge C.

[0061] Dans le premier état, on a donc :

$$FAtc > FAta\,.$$

[0062] Un deuxième état est représenté schématiquement sur les figures 2B et 3B, et est un état dans lequel l'entrefer virtuel EV est fermé et ferme magnétiquement le circuit magnétique 2 au niveau du troisième noyau 3 de découplage.

[0063] Comme le montre la figure 2B, le flux magnétique Fc dans le troisième noyau 3 est important, car l'entrefer virtuel EV est fermé, alors que le flux embrassé par la bobine 6 est négligeable, en raison de la disposition symétrique des trous 5.

[0064] Au contraire, le flux magnétique (flux de fuites) dans le deuxième noyau 22 est faible : comme le montre la figure 3B, le convertisseur 4 est alors découplé de la première bobine 1, de sorte que le régulateur 10 ne régule plus la tension dans la charge C, mais ne soit pas endommagé par un défaut dans le réseau. De préférence, la deuxième bobine 7 est mise en court-circuit pour obtenir une équivalence à l'ouverture 70 du noyau 22.

[0065] Dans le deuxième état, on a donc :

$$FAtc << FAta$$

[0066] Pour avoir cette situation, il faut

- qu'il y ait un courant de court-circuit de grande amplitude dans le réseau (FAt_a est donc très importante), et/ou
- que le courant traversant le bobinage 6 soit nul (on a alors FAt_c égale à 0).

Après l'élimination du défaut sur le réseau et la fin du régime transitoire électrique (c'est-à-dire les oscillations de la tension transitoire de rétablissement sur les organes de coupure), l'entrefer EV est de nouveau ouvert, sans maintenance particulière, et le régulateur 10 peut de nouveau réguler la tension sur le réseau. Et en cas de nouveau de court-circuit de défaut, le circuit 2 est de nouveau fermé magnétiquement par la fermeture rapide de l'entrefer EV, et ainsi de suite.

[0067] Dans une conception optimale du régulateur, le découplage du convertisseur 4 et de la bobine 1 peut s'effectuer en un temps de l'ordre de 1 ms, ce qui permet :

- de mettre en sécurité le convertisseur 4 et la source 8 de l'entrefer EV (découplage magnétique),
- de réduire l'énergie des courants transitoires de commutation du convertisseur et des dispositifs de commande et de protection,
- de revenir rapidement en mode de régulation normal, si la variation de courant est due à un transitoire comme, par exemple, une impulsion haute fréquence.

Il est souvent préférable de ne pas découpler le régulateur 10 de tension lors des régimes transitoires, dits normaux,

du courant de charge sur le réseau (sauf bien entendu si leur durée excessive est un signe de défaut sur le réseau). Les régimes transitoires normaux sont en effet dus par exemple :

- à l'enclenchement sur le réseau de transformateurs,
- au démarrage de moteurs sur le réseau,
- etc.

[0068] Le régulateur 10 est alors adapté aux besoins du réseau (réseau de transport, réseau de distribution ou réseau industriel) et à la variété des gammes de puissance (régime normal et puissance de court-circuit).

[0069] C'est pour cette raison qu'il existe un troisième état de fonctionnement, en variante optionnelle.

[0070] Le troisième état correspond à un régime intermédiaire du réseau, dans lequel le courant alternatif est légèrement supérieur au courant nominal de la charge. Dans le régime intermédiaire, on a donc la condition suivante :

$$At_a > At_c.$$

[0071] Comme le montre la figure 2C, dans le troisième état, qui peut être établi et permanent (c'est-à-dire non transitoire), le circuit 2 est alors désaturé partiellement au niveau de l'entrefer EV du troisième noyau 3, et une partie du flux magnétique alternatif F_A (imposé par FAt_a) circule dans le troisième noyau 3 en combinaison avec le flux continu Fc (imposé par FAt_c). Tous les bobinages sont alors magnétiquement couplés.
L'ouverture de l'entrefer EV en régime normal du réseau ou la fermeture de l'entrefer EV lors d'un défaut sur le réseau peut être passive ou active ou dite intelligente.

[0072] On décrit dans un premier temps une commande passive de l'ouverture et de la fermeture de l'entrefer EV.

[0073] Dans ce cas, le limiteur 10 comporte une commande 60 passive de l'ouverture et de la fermeture de l'entrefer EV.

[0074] La commande 60 passive comporte une liaison permanente entre la source 8 et le bobinage 6, conforme aux figures 2A, 2B et 2C.

[0075] La commande passive 60 utilise la fermeture de l'entrefer EV, par désaturation du circuit 2 au niveau de l'entrefer EV due au fait que la force FAt_a est très élevée par rapport à la force FAt_c, en raison du défaut au niveau du réseau et du fort courant qui traverse la bobine 1.

[0076] Il s'agit d'un fonctionnement passif, sans besoin de contrôle de la commande passive 60. L'intensité du courant continu traversant le bobinage 6, fixée préalablement au défaut, est le seul paramètre de réglage du niveau de désaturation du troisième noyau 3.

[0077] La source 8 est de manière connue de l'homme du métier protégée contre les surintensités et les surtensions qui se développent pendant les régimes transitoires du réseau et pendant les défauts.

[0078] On décrit dans un deuxième temps une commande 60 active de l'ouverture et de la fermeture de l'entrefer EV, représentée sur la figure 4.

[0079] Dans ce cas, le régulateur 10 comporte une commande 60 active de l'ouverture et de la fermeture de l'entrefer EV.

[0080] La commande 60 active comporte un interrupteur 61 entre la source 8 et le bobinage 6.

[0081] L'interrupteur 61 peut

- jouer le rôle d'une liaison entre la source 8 et le bobinage 6 (on est alors dans premier état de fonctionnement du régulateur), ou
- annuler le courant continu dans le bobinage 6 (FAt_c est alors d'intensité nulle, et on est alors dans le deuxième état de fonctionnement du régulateur par exemple).

La commande 60 comporte un détecteur 62 qui définit le critère d'ouverture de l'interrupteur 61.

[0082] Le détecteur 62 compare l'amplitude du courant de défaut à celui d'un seuil de réglage.

[0083] Il est ainsi possible de faire fonctionner le régulateur 10 dans le troisième état, dans une plage de courant de défaut légèrement supérieur au courant en régime normal, mais inférieur au seuil. Au-delà du seuil, l'interrupteur 61 s'ouvre et le régulateur 10 passe en quelques millisecondes dans son deuxième état (EV fermé).

[0084] Lorsque le défaut est éliminé, le détecteur 62 referme l'interrupteur 61.

[0085] La commande 60 active comporte avantageusement un limiteur 63 de surtension de coupure de courant inductif, branché en parallèle de la source 8, par exemple un parafoudre à oxyde de zinc (ZnO), et/ou une diode de roue libre en série avec une résistance, tous deux connus de l'homme du métier.

[0086] On décrit dans un troisième temps une commande intelligente, représentée schématiquement sur la figure 5, dans laquelle la commande 60 est reliée à une source 8 comportant un variateur 81 de l'intensité du courant dans le

bobinage 6.

[0087] Le variateur 81 est un variateur électronique de puissance, connu de l'homme du métier, qui délivre un courant comportant une composante continue, mais peut aussi comporter des composantes alternatives, notamment au double de la fréquence du réseau.

[0088] Selon la valeur du courant du réseau mesurée par la commande 60 (régime normal, ou intensité du courant légèrement supérieure au courant en régime normal, ou enfin court-circuit), la commande 60 commande le variateur 81 qui fait alors passer le régulateur 10 dans l'état magnétique de fonctionnement 1, 2 ou 3 le plus adapté au contexte.

[0089] La commande 60 peut aussi être télécommandée pour prendre en compte le fonctionnement des dispositifs de protection du réseau, voire modifier ses seuils de réglage selon les besoins.

[0090] Le variateur 81 est avantageusement pourvu de dispositifs de protection, connu de l'homme du métier, contre les surintensités et surtensions.

Les figures 6A et 6B représentent schématiquement des fonctions d'un régulateur selon l'invention, en faisant référence aux trois états magnétiques de l'entrefer EV.

[0091] Pour les défauts d'amplitude extrême (ici très élevé, typiquement de 5 à 10 fois le courant nominal dans le réseau, référencé par I_n), il faut découpler rapidement le convertisseur 4 de tension en fermant magnétiquement l'entrefer EV. Le flux généré par le courant de défaut se referme principalement par le troisième noyau 3 au niveau de l'entrefer EV.

[0092] Le bobinage 7 du convertisseur 4 peut rester ouvert pendant la durée du défaut ou, de préférence, être mis en court-circuit pour contribuer à repousser le flux magnétique vers l'entrefer EV. Cette mise en court-circuit est équivalente à une ouverture du circuit magnétique 70, comme le montre la figure 3B. Elle peut être assurée par le convertisseur 4 lui-même ou par des composants complémentaires, notamment les protections du convertisseur connues de l'homme du métier.

[0093] Pour les régimes transitoires normaux (avec un courant légèrement supérieur à un courant nominal, typiquement de 2 à 3 fois le courant nominal In dans le réseau) deux options sont possibles :

- découpler totalement et rapidement le convertisseur 4 comme dans le cas des courants de court-circuit, référencés par I_{cc}, extrêmes,
- maintenir l'entrefer EV dans un état intermédiaire.

[0094] Le flux généré par le courant transitoire se referme alors en partie du côté de l'entrefer EV (proportion X%) et pour l'autre partie (proportion 100-X%) du côté du convertisseur 4.

[0095] Ceci demande des performances sensiblement supérieures pour le convertisseur 4 et pour la source 8, mais la régulation présente alors l'avantage de répondre aux régimes transitoires normaux sans de brusques sauts de tension. Le convertisseur 4 se trouve aussi dans un état intermédiaire de découplage partiel pendant la durée du régime transitoire normal.

[0096] Le tableau 1 ci-dessous résume les états magnétiques de l'entrefer EV et ceux du convertisseur 4 de tension.

Tableau 1

Amplitude du courant alternatif du réseau	**Régime normal (In)**	**Régime transitoire normal (2 à 3 In)**	**Défaut (5 à 10 In, voire plus)**
Deux régimes de fonctionnement, avec l'entrefer EV en commande active	Tension régulée Entrefer EV ouvert	Convertisseur découplé totalement Entrefer EV fermé	
Deux régimes de fonctionnement, avec l'entrefer EV en commande passive	Tension régulée Entrefer EV ouvert	Tension partiellement régulée, selon conception et commande du convertisseur Convertisseur découplé partiellement Entrefer EV en état intermédiaire	
Trois régimes de fonctionnement, avec l'entrefer EV dans trois états magnétiques possibles	Tension régulée Entrefer EV ouvert	Tension partiellement régulée, selon conception et commande du convertisseur Convertisseur partiellement découplé Entrefer EV en état intermédiaire	Convertisseur découplé totalement Entrefer EV fermé

[0097] Le choix de réalisation d'un régulateur à deux ou trois régimes de fonctionnement dépend du contexte.

[0098] Ainsi, pour un réseau affecté de régimes transitoires normaux très fréquents et dont la charge est sensible aux

variations de tension, le dispositif à trois régimes est souhaitable.

[0099] Inversement, si les régimes transitoires sont rares, le surcoût de conception du régulateur n'est pas justifié.

[0100] De même, dans le cas où les défauts extrêmes n'existent pas, en raison de la faiblesse du réseau, une commande 60 passive de l'entrefer EV peut être intéressante.

[0101] De manière préférentielle, la commande 60 commande la source continue 8 et le convertisseur 4 de tension de manière coordonnée.

[0102] Comme le montre schématiquement la figure 7, la commande 60 envoie une consigne 601 de régulation de tension vers le convertisseur 4 électronique, et une consigne 602 de régulation vers la source 8.

[0103] Le contrôle de l'état intermédiaire de l'entrefer EV se fait par la variation de courant dans le bobinage 6, le courant comportant une composante continue et des composantes harmoniques. La source 8 peut également comporter avantageusement un convertisseur de courant.

[0104] Le cas de la réalisation du dispositif par un ensemble ayant trois régimes de fonctionnement peut donc se faire avec une commande 60 intelligente qui gère les fonctionnements d'un convertisseur de tension et d'un convertisseur de courant.

[0105] Dans tous les cas, il faut découpler rapidement le convertisseur 4 du réseau à l'apparition d'un défaut.

[0106] Comme le montre la figure 8A, tous les dispositifs de protection sont confrontés à la même difficulté de prédire l'évolution du courant, à partir d'une variation de courant di/dt importante en un temps relativement court, typiquement de l'ordre de 1 ms. Il faut en effet découpler le convertisseur de tension en 1 ms, sinon il est détruit par le court-circuit.

[0107] La figure 8B montre en effet qu'il peut s'agir d'un régime transitoire normal (manoeuvre en réseau, variation de charge, etc.), et dans ce cas il y a retour à un régime normal en un temps typiquement de l'ordre de quelques millisecondes.

[0108] Au contraire, la figure 8C montre que l'intensité peut être extrême (de 5 à 10 In, voire plus) et alternative avec une période correspondant à la période de la tension du réseau, par exemple 20ms, et donc correspondre à un défaut.

[0109] Un des avantages d'un régulateur 10 selon l'invention est de dimensionner la puissance du convertisseur de tension pour les besoins de régulation uniquement, quelles que soient l'amplitude et la durée des défauts, notamment pour réduire les fluctuations de tensions, les distorsions harmoniques, les effets du "flicker", et voire compenser en tout ou partie les creux de tension.

[0110] La source 8 est dimensionnée pour fournir les pertes ohmiques permanentes du bobinage 6 et pour tenir le transitoire de commutation rapide de l'entrefer EV, situation transitoire qui est également représentée sur la figure 2C.

[0111] Le choix du rapport du nombre de spires de la première bobine 1 sur le nombre de spires de la deuxième bobine 7, permet d'optimiser le coût du convertisseur 4 de tension en s'adaptant aux performances des matériels électroniques du marché, mais aussi en bénéficiant des progrès en matière de rapidité de commutation (>kHz), de tenue en tension (>kV) et de tenue en courant (>kA).

[0112] Le nombre de spires du bobinage 6 est lié aux caractéristiques du circuit 2 pour obtenir une rapidité de commande de l'entrefer EV de l'ordre de la milliseconde pour un réseau industriel 50 Hz ou 60 Hz.

[0113] A titre d'exemple :

Performance du régulateur monophasé

[0114]

Tension monophasée réseau	11,5kV
Régulation de tension série	+ ou - 10%
Courant nominal	30A
Puissance équivalente triphasée	1MVA

Convertisseurs électroniques

[0115]

Caractéristique des interrupteurs IGBT	1200A, 2500V
Constante de temps de commande EV	1ms

Exemples de dimensionnements du régulateur

[0116]

Diamètre de trou 5	10 à 25cm
Nbre de spires du bobinage 6	5 à 20
Nbre de spires de la première bobine (alternative) 1	150 à 200
Nbre de spires de la deuxième bobine (convertisseur) 7	20 à 40
Epaisseur du troisième noyau 3	10 à 30cm

Lorsque la dimension du circuit magnétique 2 augmente, la surface d'un trou 5 augmente plus vite que son périmètre. Il en résulte l'avantage de pouvoir choisir une densité de courant dans le bobinage 6 suffisamment faible pour y réduire les pertes ohmiques permanentes, quand l'entrefer EV est ouvert.

La figure 9A et la figure 9B précisent quelques caractéristiques du premier noyau 21 (également référencé par N_R), du deuxième noyau 22 (également référencé par N_U) et du troisième noyau 3 (également référencé par N_{EV}).

[0117] Comme le montre la figure 9A, en régime normal de régulation, le premier noyau 21, une éventuelle réduction 210 de section et le deuxième noyau 22 ne doivent pas être saturés magnétiquement.

[0118] Le circuit magnétique 2 doit être fermé pour assurer un bon couplage entre la deuxième bobine 7 du convertisseur 4 et la première bobine 1. Il faut donc éviter les entrefers mécaniques le long du trajet de flux F_A (comme représenté également sur la figure 2A).

[0119] En régime transitoire, et *a fortiori* pendant les défauts extrêmes, il faut absolument éviter les entrefers mécaniques le long du trajet de flux F_C (comme représenté sur la figure 2B), afin de protéger le convertisseur 4 de tension. Le troisième noyau 3 ne doit donc jamais être saturé pendant ces défauts.

[0120] Cependant, en régime transitoire et a *fortiori* pendant les défauts extrêmes, le premier noyau 21 peut être saturé afin de limiter le flux magnétique. A cet effet, le premier noyau 21 peut comporter une réduction 210 de section.

[0121] Dans un autre mode de réalisation représenté sur la figure 9B, l'excédent de flux consécutif au régime transitoire ou au défaut peut être canalisé par un noyau complémentaire 220 raccordé par au moins un entrefer 221 au circuit magnétique 2. La première bobine 1 entoure alors les noyaux 21 et 220.

La figure 10A représente un schéma électrique équivalent du régulateur 10, avec des impédances L_{NEV}, L_{NU} et L_{NR} respectivement représentatives des noyaux N_{EV} (3), N_U (22) et N_R (21) de la figure 9A.

[0122] Comme le montre la figure 10B, en régime normal, l'entrefer EV est ouvert, l'inductance L_{NEV} du troisième noyau 3 est de faible valeur. Le convertisseur 4 de tension régule la tension U en compensant la chute de tension dans l'inductance L_{NEV}.

[0123] Comme le montre la figure 10C, en régime intermédiaire, l'entrefer EV n'est pas complètement fermé. Le courant du réseau (d'intensité comprise entre 1 à 3 In) s'écoule en partie par l'inductance saturable L_{NR} et en partie dans la branche composée de l'inductance L_{NEV} (commandée par la source 8 de courant continu I), en série avec le convertisseur 4 délivrant la tension U (pour une intensité de 0 à 2 In, en fonction des performances de la source 8 et du convertisseur 4).

[0124] Comme le montre la figure 10D, en régime de défaut (l'intensité du courant dans le réseau est comprise entre 3 à 10 In par exemple), l'entrefer EV est fermé et l'inductance L_{NEV} limite le courant dans le convertisseur 4 de tension. Ce courant est alors inférieur à In, voire très faible, selon les choix de dimensionnement et de fonctionnement du régulateur. De préférence, la deuxième bobine est mise en court-circuit pour contribuer à l'ouverture 70 du noyau 22 (comme représenté schématiquement sur la figure 3B) : la tension U représentée sur la figure 10D est alors nulle.

[0125] Comme le montre la figure 11, pour les régimes où le premier noyau 21 est saturé, et pour éviter que la chute ΔVcc de tension de court-circuit ne soit trop importante et/ou trop non linéaire, il est possible de réaliser la réduction 210 de section du premier noyau 21 d'une manière qui favorise les pertes 30 par courants de Foucault, c'est-à-dire des courants induits par des variations d'induction magnétique, en fabriquant la plaque du circuit 2 par une superposition de tôles magnétiques 28. Dans un autre mode de réalisation, la plaque peut également assurer cette fonction dissipative d'énergie par des pertes électro-magnétiques à l'aide de matériaux adaptés. Inversement, on peut souhaiter augmenter la chute de tension ΔVcc, car l'augmentation de ΔVcc permet de limiter le courant de défaut. Le régulateur 10 comporte ainsi une fonction de limitation du courant de défaut.

[0126] On présente ici deux modes de réalisation pour obtenir ce résultat.

[0127] La figure 12 montre que selon un premier mode de réalisation, la première bobine 1 se compose d'une première partie 1a, s'enroulant autour du premier noyau 21, et d'une deuxième partie 1b, s'enroulant dans le même sens de bobinage, autour d'une partie du circuit 2, appelée culasse, comprise entre le premier noyau 21 et le troisième noyau 3, par exemple au voisinage des trous 5.

[0128] En régime normal, le troisième noyau 3 est ouvert par l'entrefer EV, et l'inductance L1b de la deuxième partie 1 b de la première bobine 1 est de faible valeur. Elle introduit une chute ΔVcc de tension faible qui peut être compensée par le convertisseur 4 de tension.

[0129] En régime de défaut, les inductances L1a et L1b des parties 1 a et 1 b de la bobine 1 sont parcourues par le

même flux F_C qui se referme par le troisième noyau 3. Les chutes ΔVcc de tension dépendent du nombre de spires des parties 1 a et 1 b de la première bobine 1 et s'ajoutent dans les parties 1 a et 1 b selon le carré des nombres N1 a et N1b de spires, à savoir

$$(N1a+N1b)^2.$$

[0130] La figure 13, représentant une coupe longitudinale, vue de dessus, du circuit 2, montre que selon un deuxième mode de réalisation, pour augmenter la chute ΔVcc de tension sans changer le nombre de spires, il faut augmenter le flux F_C, notamment en augmentant la section du premier noyau 21.

[0131] A cet effet, le circuit 2 comporte un circuit 200 magnétique auxiliaire comportant un cadre comportant un noyau 212 et un noyau NF, parallèles entre eux et au premier noyau 21, et un entrefer mécanique EM.

[0132] La première bobine 1 s'enroule autour

- du premier noyau 21, de section similaire au premier noyau 21 décrit jusqu'à présent, et
- du noyau 212.

[0133] L'augmentation de flux F_C dans la première bobine 1 ne demande donc pas d'augmenter la section du premier noyau.

[0134] En régime normal, le flux F_A est négligeable dans le circuit 200, en raison de l'entrefer mécanique EM.

[0135] En régime de défaut, le flux F_C en dépassement du niveau de saturation du premier noyau 21 se referme dans le circuit 200.

[0136] La chute de tension $\Delta Vcc1$, due au premier noyau 21, est augmentée de $\Delta Vcc2$, due au circuit auxiliaire 200 ($\Delta Vcc2$ est ajustable par l'entrefer mécanique EM).

[0137] Un autre mode de réalisation permettant également de limiter le courant de défaut consiste à ajouter en série avec le régulateur une inductance séparée de celui-ci.

[0138] Comme le montre la figure 14, en régime normal, le régulateur de tension peut compenser la chute de tension dans cette inductance série.

[0139] La figure 15 montre la relation entre la tension efficace aux bornes de la charge et le courant efficace du régulateur, quand une fonction de limitation est assurée par le régulateur ou par une inductance séparée.
On comprend que pour optimiser la construction du régulateur, l'homme du métier peut préférer une autre disposition des fenêtres 23 et 24 réalisées avec les noyaux et culasses, afin de faciliter par exemple le raccordement aux bornes de sortie, ou encore répondre à l'exigence de tenue aux essais diélectriques (choc de foudre).

[0140] De même, le choix d'une isolation sèche (par exemple par une résine époxy) ou d'une isolation à huile (par papier imprégné) peut conduire à disposer les fenêtres 23 ou 24 d'une autre manière que celle présentée schématiquement dans les figures.

[0141] Enfin, on comprend que la réalisation d'un régulateur ou d'un régulateur-limiteur multiphasé, et notamment triphasé, peut être basée sur le regroupement de plusieurs unités monophasées identiques ou sur la conception d'un circuit magnétique multiphasé, dans les règles de l'art connues de l'homme du métier. Un des buts d'une telle réalisation est de réduire la masse et l'encombrement du circuit magnétique. Un autre but peut être d'obtenir des performances différentes en mode direct et en mode homopolaire, notamment quand les sources de perturbations de tension et/ou les défauts sont différents selon ces modes, notamment en raison des types de mise à la terre du réseau alternatif.

Revendications

1. Régulateur (10) de tension, adapté pour être branché en série entre d'une part une source (S) alternative et d'autre part une charge (C), comportant
un circuit magnétique (2) comportant un premier noyau (21) et un deuxième noyau (22),
au moins une première bobine (1) inductive bobinée au moins partiellement autour du premier noyau (21) et reliée d'une part à la source (S) alternative et d'autre part à la charge (C), et
au moins un convertisseur (4) de tension comportant une deuxième bobine (7) bobinée autour du deuxième noyau (22),
le régulateur (10) étant **caractérisé en ce que**
le circuit (2) comporte

un troisième noyau (3) de découplage, et

un entrefer virtuel (EV), l'entrefer virtuel (EV) comportant

- au moins une paire (50) de trous (5) dans le troisième noyau (3) de découplage, et
- un bobinage (6) se bobinant entre les trous (5) de chaque paire (50) de trous (5), et relié à une source (8) de courant continu,

le régulateur (10) fonctionnant entre au moins deux états, à savoir :

un premier état dans lequel l'entrefer virtuel (EV) est ouvert en saturant magnétiquement le troisième noyau (3) de découplage, le flux magnétique dans le troisième noyau (3) étant faible, et la deuxième bobine (7) du convertisseur (4) étant couplée à la première bobine (1), de sorte que le régulateur puisse réguler une tension dans la charge (C), et
un deuxième état dans lequel l'entrefer virtuel (EV) est fermé, le flux magnétique dans l'entrefer virtuel (EV) du troisième noyau (3) étant important, de sorte que le convertisseur (4) soit découplé de la première bobine (1).

2. Régulateur selon la revendication 1, en outre adapté pour fonctionner selon un troisième état dans lequel l'entrefer virtuel (EV) est partiellement ouvert en désaturant partiellement le troisième noyau (3), de sorte que le convertisseur (4) soit partiellement découplé de la première bobine (1).

3. Régulateur selon l'une des revendications 1 ou 2, comportant une commande (60) passive ou active ou intelligente de l'ouverture, totale ou partielle, ou de la fermeture, totale ou partielle, de l'entrefer virtuel (EV).

4. Régulateur selon la revendication 3, dans lequel la commande (60) passive comporte une liaison permanente entre la source (8) de courant continu et le bobinage (6).

5. Régulateur selon la revendication 3, dans lequel la commande (60) active comporte un interrupteur (61) commandé par un détecteur (62) entre la source (8) de courant continu et le bobinage (6).

6. Régulateur selon la revendication 3, dans lequel la commande (60) intelligente commande une source (8) de courant continu comportant un variateur (81) relié au bobinage (6).

7. Régulateur selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le premier noyau (21) comporte

- une réduction (210) de section, ou
- un noyau complémentaire (220) relié par un entrefer mécanique (221) au circuit magnétique (2).

8. Régulateur selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la première bobine (1) se compose d'une première partie (1 a), s'enroulant autour du premier noyau (21), et d'une deuxième partie (1 b), s'enroulant autour d'une partie du circuit (2) comprise entre le premier noyau (21) et le troisième noyau (3), le régulateur présentant ainsi également une fonction de limiteur de courant.

9. Régulateur selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le circuit (2) comporte un circuit (200) magnétique auxiliaire comportant un cadre comportant au moins un noyau (212) et un entrefer mécanique (EM), la première bobine (1) s'enroulant autour du premier noyau (21) et du noyau (212) du cadre, le régulateur présentant ainsi également une fonction de limiteur de courant.

10. Régulateur selon l'une des revendications 1 à 9, adapté pour être mis en série avec une bobine limitatrice de courant.

Patentansprüche

1. Spannungsregler (10), der in Reihe schaltbar ist zwischen einerseits einer Wechselstromquelle (S) und anderseits einer Last (C), umfassend:

eine Magnetschaltung (2) mit einem ersten Kern (21) und einem zweiten Kern (22),
mindestens eine erste Induktionsspule (1), die mindestens teilweise um den ersten Kern (21) gewickelt ist, und die einerseits mit der Wechselstromquelle (S) und anderseits mit der Last (C) verbunden ist, und
mindestens einen Spannungswandler (4) mit einer zweiten Spule (7), die um den zweiten Kern (22) gewickelt ist,

wobei der Regler (10) **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die Schaltung (2) Folgendes umfasst:

einen dritten Entkopplungskern (3) und
einen virtuellen Luftspalt (EV), wobei der virtuelle Luftspalt (EV) Folgendes umfasst:

- mindestens ein Paar (50) von Löchern (5) in dem dritten Entkopplungskern (3) und
- eine Wicklung (6), die zwischen den Löchern (5) jedes Paares (50) von Löchern (5) gewickelt wird und mit einer Gleichstromquelle (8) verbunden ist,

wobei der Regler (10) zwischen mindestens zwei Zuständen betrieben wird, das heißt:

einem ersten Zustand, in dem der virtuelle Luftspalt (EV) geöffnet ist, indem er den dritten Entkopplungskern (3) magnetisch sättigt, wobei der magnetische Fluss in der dritten Spule (3) schwach ist, und wobei die zweite Spule (7) des Wandlers (4) mit der ersten Spule (1) gekoppelt ist, so dass der Regler eine Spannung in der Last (C) regeln kann, und
einem zweiten Zustand, in dem der virtuelle Luftspalt (EV) geschlossen ist, wobei der magnetische Fluss in dem virtuellen Luftspalt (EV) der dritten Spule (3) hoch ist, so dass der Wandler (4) von der ersten Spule (1) entkoppelt ist.

2. Regler nach Anspruch 1, der ferner angepasst ist, um in einem dritten Zustand betrieben zu werden, in dem der virtuelle Luftspalt (EV) teilweise geöffnet ist, indem er den dritten Kern (3) teilweise entsättigt, so dass der Wandler (4) von der ersten Spule (1) teilweise entkoppelt ist.

3. Regler nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der eine passive oder aktive oder intelligente Steuerung (60) der vollständigen oder teilweisen Öffnung oder der vollständigen oder teilweisen Schließung des virtuellen Luftspalts (EV) aufweist.

4. Regler nach Anspruch 3, wobei die passive Steuerung (60) eine permanente Verbindung zwischen der Gleichstromquelle (8) und der Wicklung (6) umfasst.

5. Regler nach Anspruch 3, wobei die aktive Steuerung (60) einen Schalter (61) aufweist, der durch einen Detektor (62) zwischen der Gleichstromquelle (8) und der Wicklung (6) gesteuert wird.

6. Regler nach Anspruch 3, wobei die intelligente Steuerung (60) eine Gleichstromquelle (8) steuert, die einen Regler (81) aufweist, der mit der Wicklung (6) verbunden ist.

7. Regler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der erste Kern (21) Folgendes umfasst:

- eine Querschnittsverringerung (210) oder
- einen zusätzlichen Kern (220), der durch einen mechanischen Luftspalt (221) mit der Magnetschaltung (2) verbunden ist.

8. Regler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die erste Spule (1) aus einem ersten Teil (1a), der den ersten Kern (21) umschlingt, und einem zweiten Teil (1b), der einen Teil der Schaltung (2) umschlingt, der zwischen dem ersten Kern (21) und dem dritten Kern (3) liegt, besteht, wobei der Regler so auch eine Spannungsbegrenzerfunktion aufweist.

9. Regler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Schaltung (2) eine Hilfsmagnetschaltung (200) umfasst, die einen Rahmen mit mindestens einem Kern (212) und einem mechanischen Luftspalt (EM) umfasst, wobei die erste Spule (1) den ersten Kern (21) und den Kern (212) des Rahmens umschlingt, wobei der Regler so auch eine Spannungsbegrenzerfunktion aufweist.

10. Regler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, der mit einer Strombegrenzerspule in Reihe schaltbar ist.

Claims

1. Voltage regulator (10) adapted to be connected in series between firstly an alternating source (S) and secondly a

load (C) comprising
a magnetic circuit (2) comprising a first core (21) and a second core (22),
at least a first inductive coil (1) wound at least partially around the first core (21) and connected firstly to the alternating source (S) and secondly to the load (C), and
at least one voltage converter (4) comprising a second coil (7) wound around the second core (22),
the regulator (10) being **characterised in that** the circuit (2) comprises
a third decoupling core (3) and
a virtual air gap (EV), the virtual air gap (EV) comprising

- at least one pair (50) of holes (5) in the third decoupling core (3), and
- a winding (6) being wound between the holes (5) in each pair (50) of holes (5) and connected to a DC source (8),

the regulator (10) operating between at least two states, namely:

a first state in which the virtual air gap (EV) is open by magnetically saturating the third decoupling core (3), the magnetic flux in the third core (3) being low and the second coil (7) of the converter (4) being coupled to the first coil (1), such that the regulator can regulate a voltage in the load (C), and
a second state in which the virtual air gap (EV) is closed, the magnetic flux in the virtual air gap (EV) of the third core (3) being high, such that the converter (4) is decoupled from the first coil (1).

2. Regulator according to claim 1, also being adapted to operate in a third state in which the virtual air gap (EV) is partially opened by partially desaturating the third core (3) such that the converter (4) is partially decoupled from the first coil (1).

3. Regulator according to one of claims 1 and 2, comprising a passive or active or smart control (60) of complete or partial opening or complete or partial closing of the virtual air gap (EV).

4. Regulator according to claim 3, in which the passive control (60) comprises a permanent connection between the DC current source (8) and the winding (6).

5. Regulator according to claim 3, in which the active control (60) comprises a switch (61) controlled by a detector (62) between the DC source (8) and the winding (6).

6. Regulator according to claim 3, in which the smart control (60) controls a DC current source (8) comprising a variator (81) connected to the winding (6).

7. Regulator according to one of claims 1 to 6, in which the first core (21) comprises

- a cross-section reducer (210) or
- a complementary core (220) connected by a mechanical air gap (221) to the magnetic circuit (2).

8. Regulator according to one of claims 1 to 7, in which the first coil (1) is composed of a first part (1a) being wound around the first core (21), and a second part (1b) being wound around a part of the circuit (2) between the first core (21) and the third core (3), the regulator thus performing a current limitation function.

9. Regulator according to one of claims 1 to 7, in which the circuit (2) comprises an auxiliary magnetic circuit (200) comprising a frame comprising at least one core (212) and a mechanical air gap (EM), the first coil (1) being wound around the first core (21) and the core (212) of the frame, the regulator thus performing a current limitation function.

10. Regulator according to one of claims 1 to 9, adapted to be put into series with a current limiting coil.

FIG. 1

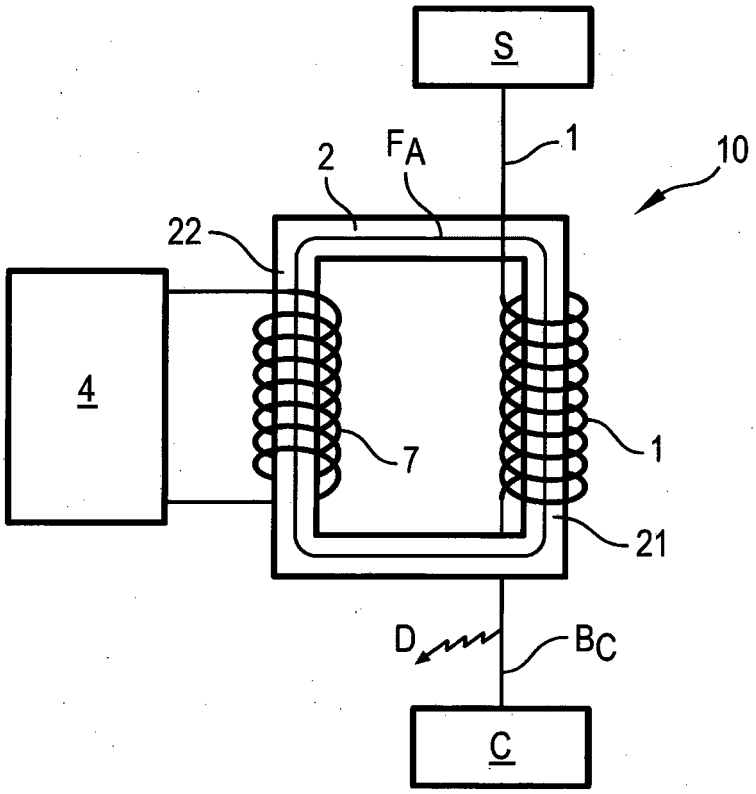


FIG. 2A

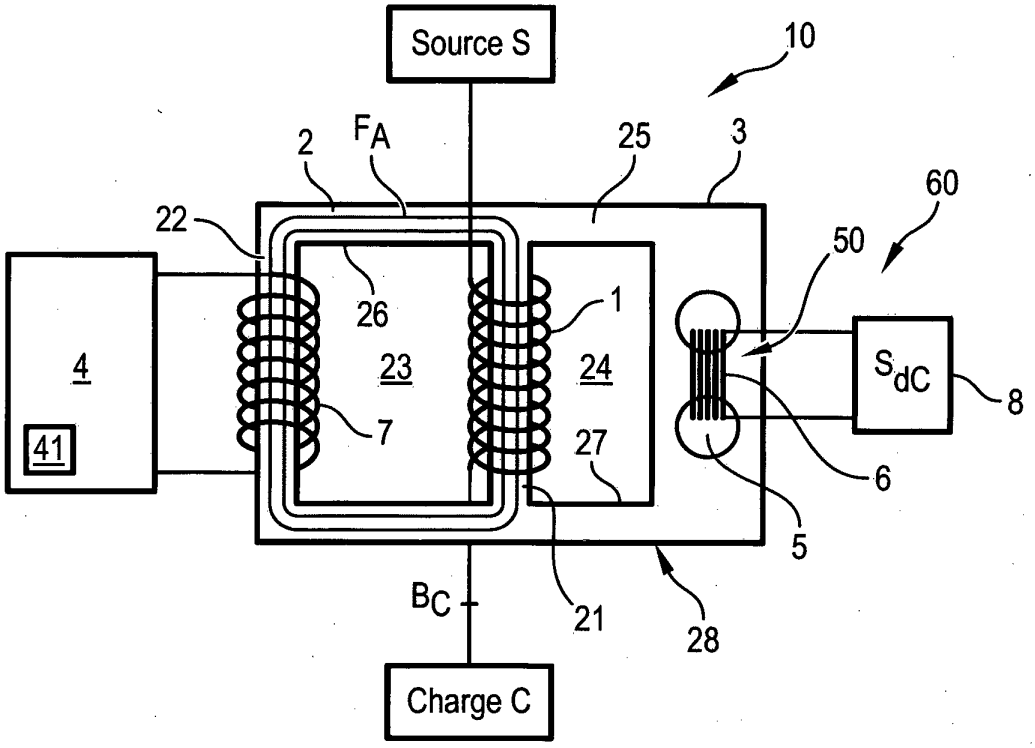

Source S
10
2
F_A
25
3
60
22
50
26
1
4
23
24
S_{dC}
8
41
7
27
6
5
B_C
21
28
Charge C

FIG. 2B

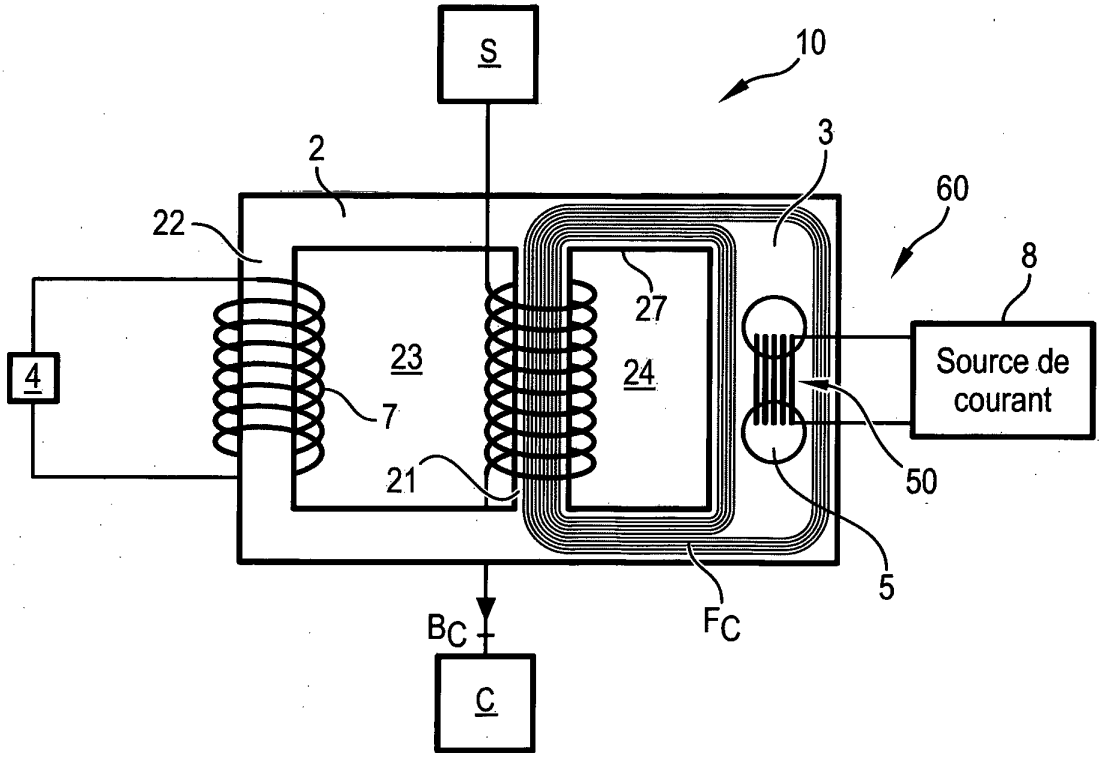

S
10
2
3
60
22
8
27
4
23
24
Source de courant
7
21
50
5
B_C
F_C
C

FIG. 2C

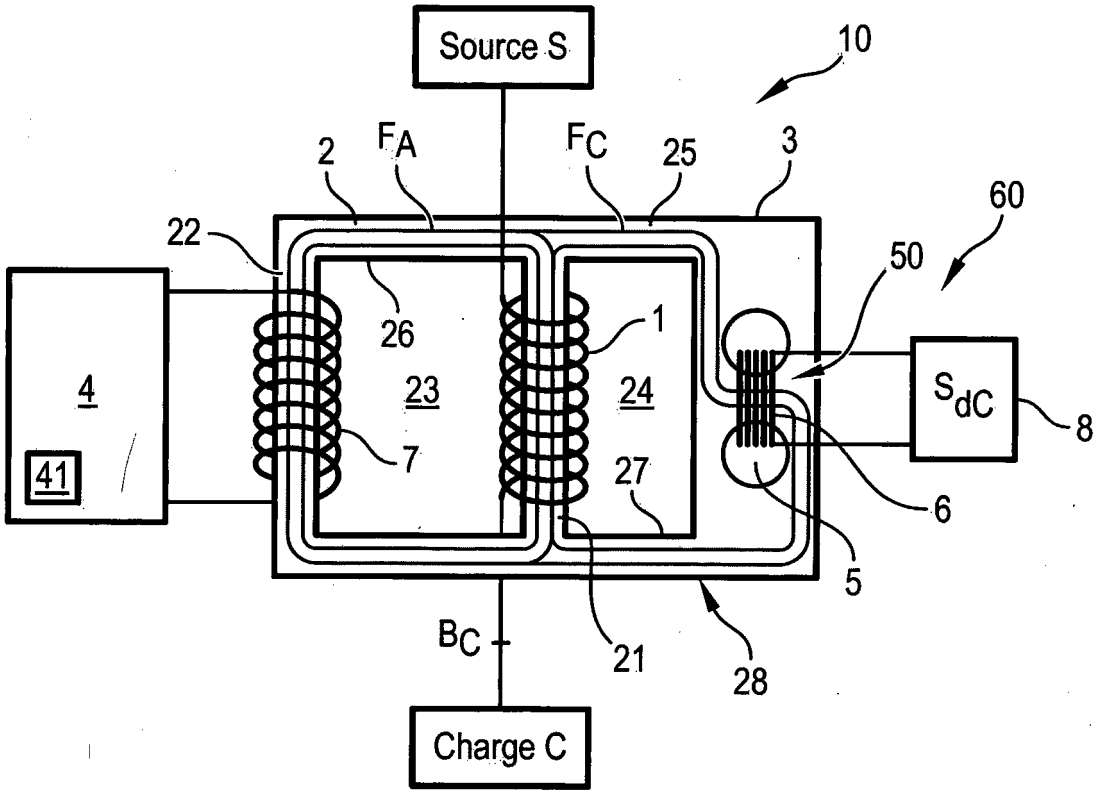

Source S
10
2
F_A
F_C
25
3
60
22
50
26
1
4
23
24
S_{dC}
8
41
7
27
6
5
B_C
21
28
Charge C

FIG. 3A

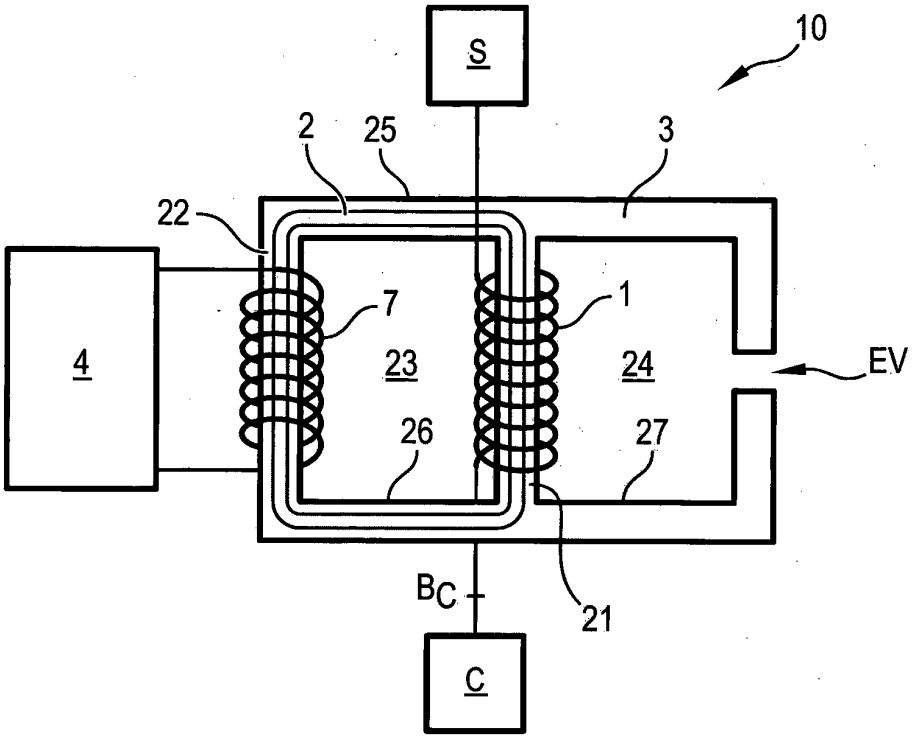

S
10
2
25
3
22
7
1
4
23
24
EV
26
27
BC
21
C

FIG. 3B

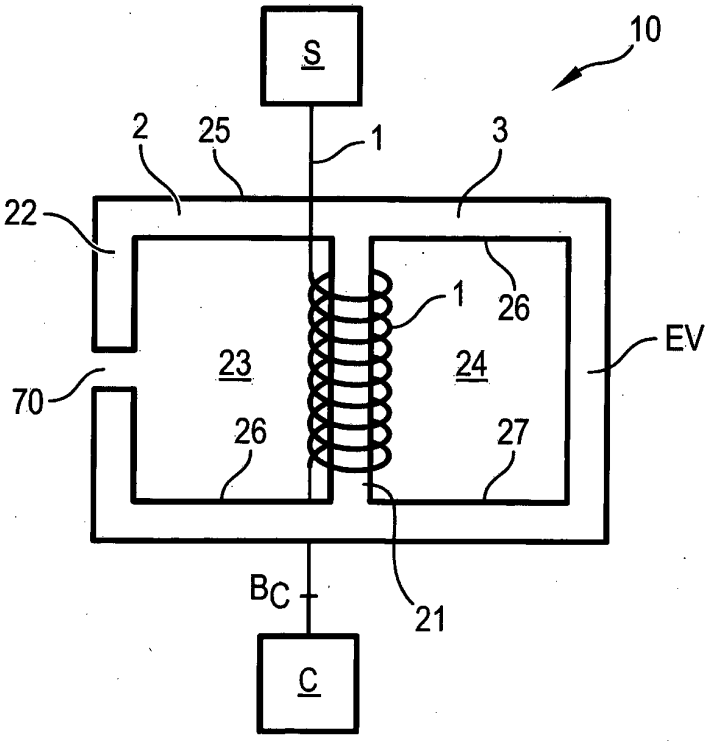

S
10
2
25
1
3
22
1
26
EV
23
24
70
26
27
BC
21
C

FIG. 4

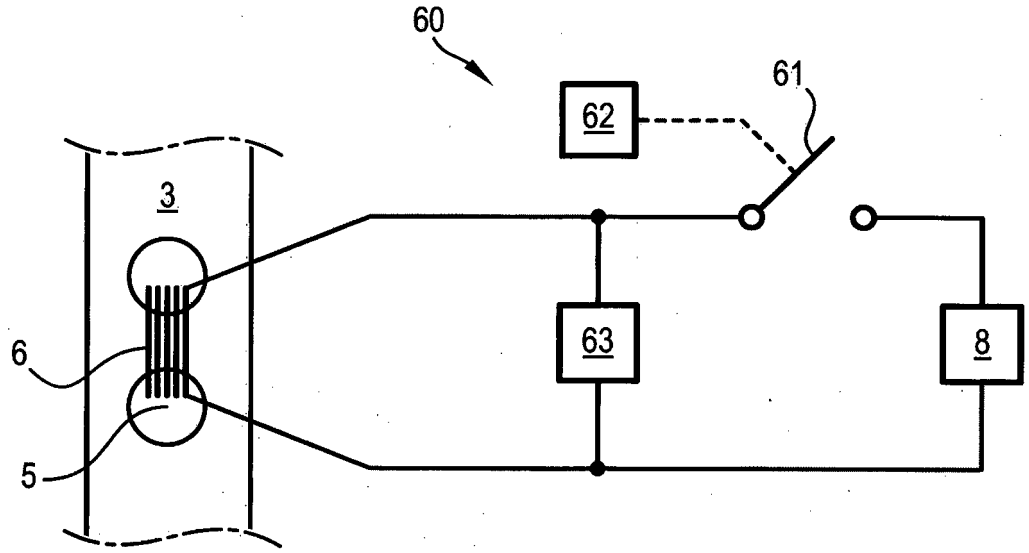


FIG. 5

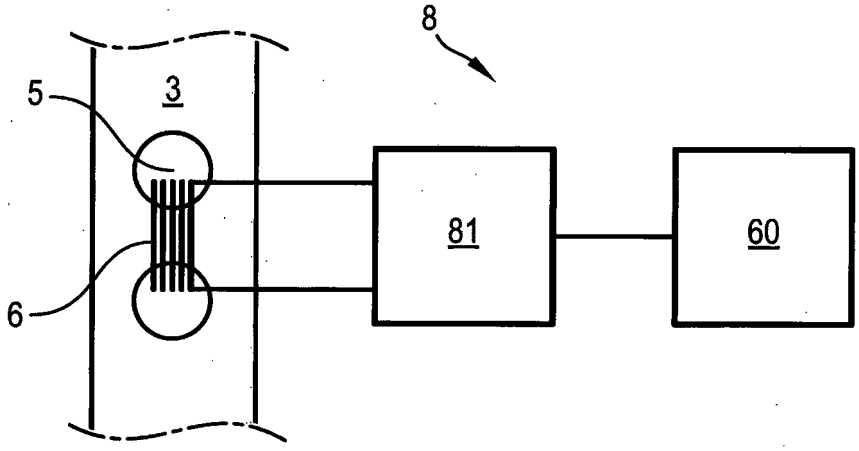


FIG. 6A

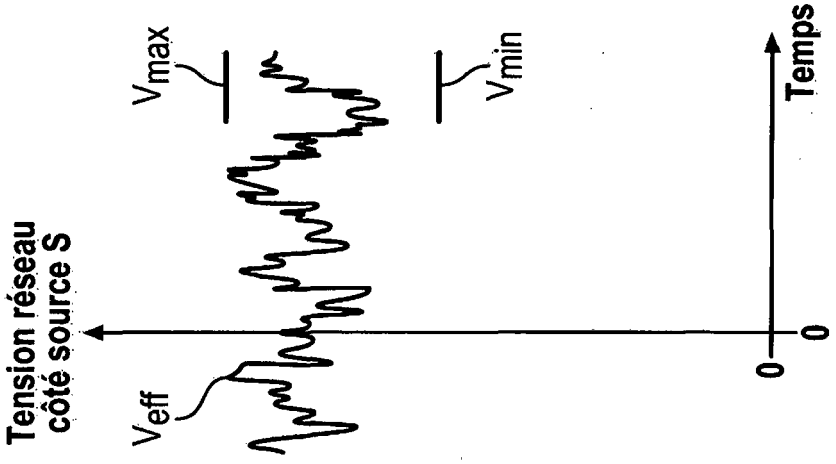

Tension réseau
côté source S
Veff
Vmax
Vmin
0
0
Temps

FIG. 6B

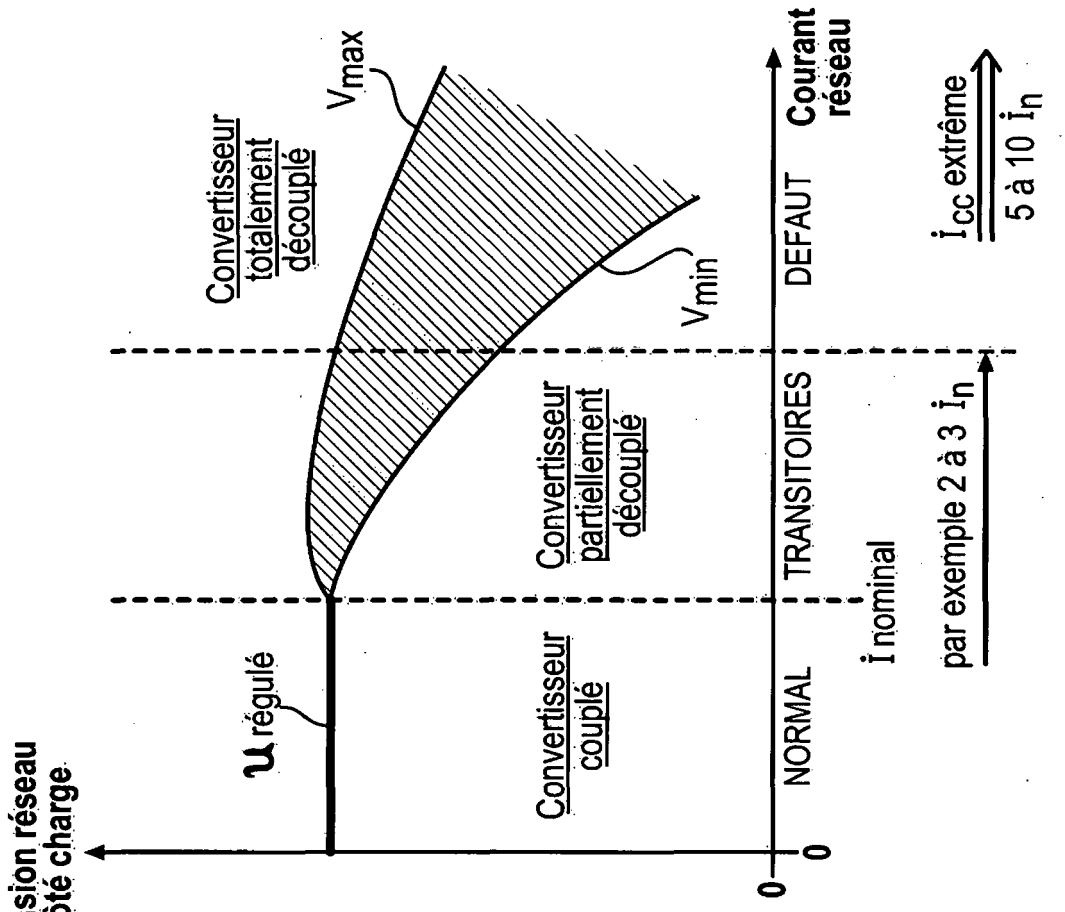

Tension réseau
côté charge
u régulé
Convertisseur
couplé
Convertisseur
partiellement
découplé
Convertisseur
totalement
découplé
Vmax
Vmin
0
0
NORMAL
TRANSITOIRES
DEFAUT
Courant
réseau
Ì nominal
par exemple 2 à 3 Ì n
Ì cc extrême
5 à 10 Ì n

FIG. 7

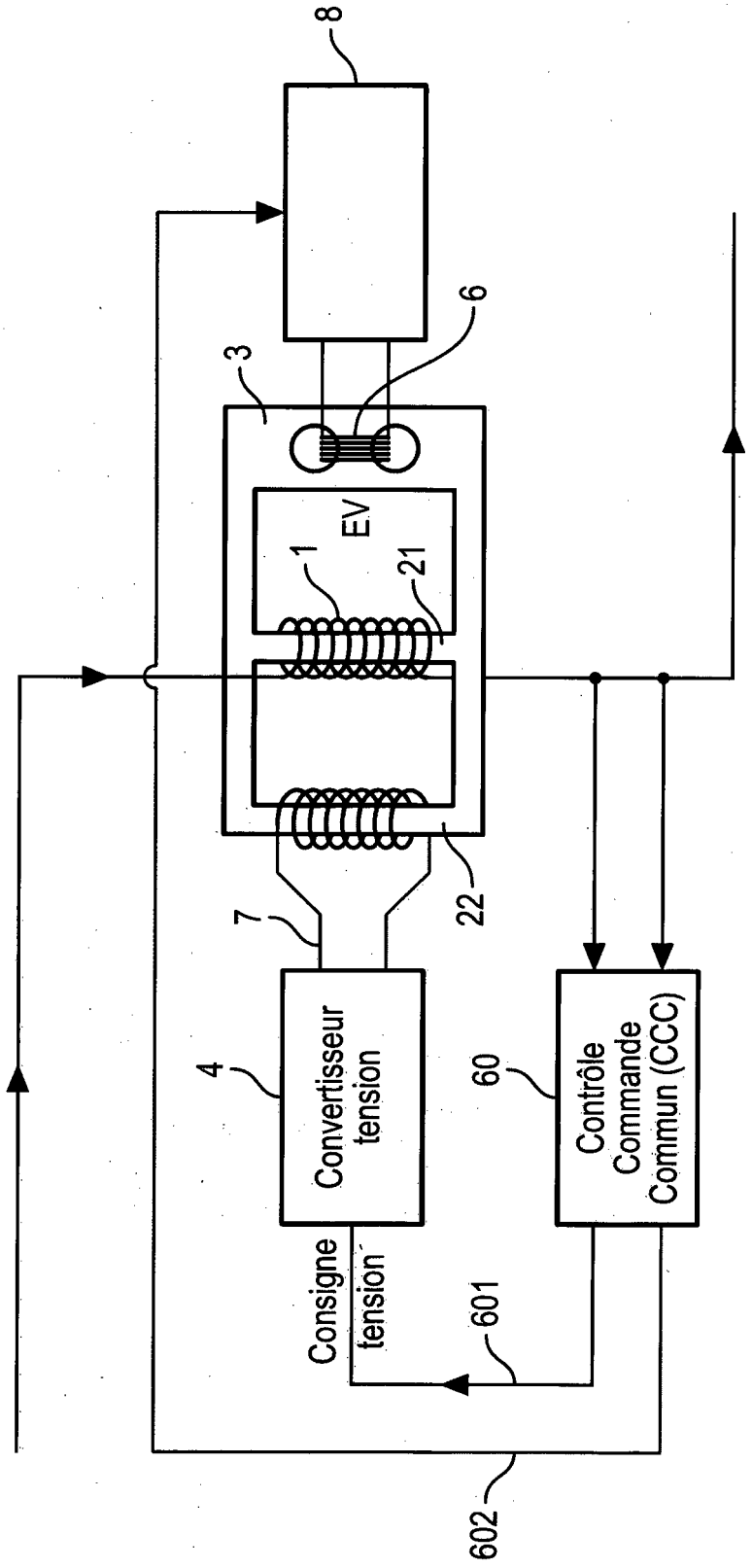

8
6
3
EV
1
21
22
7
4
Convertisseur tension
60
Contrôle Commande Commun (CCC)
Consigne tension
601
602

FIG. 8A

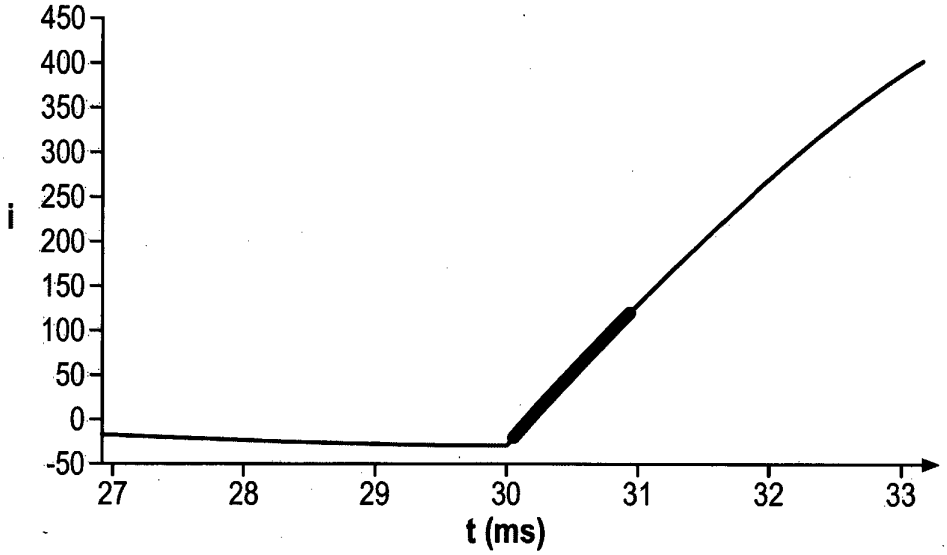


FIG. 8B

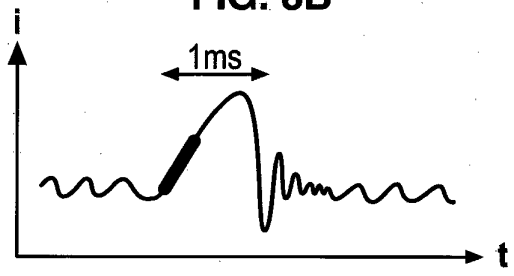


FIG. 8C

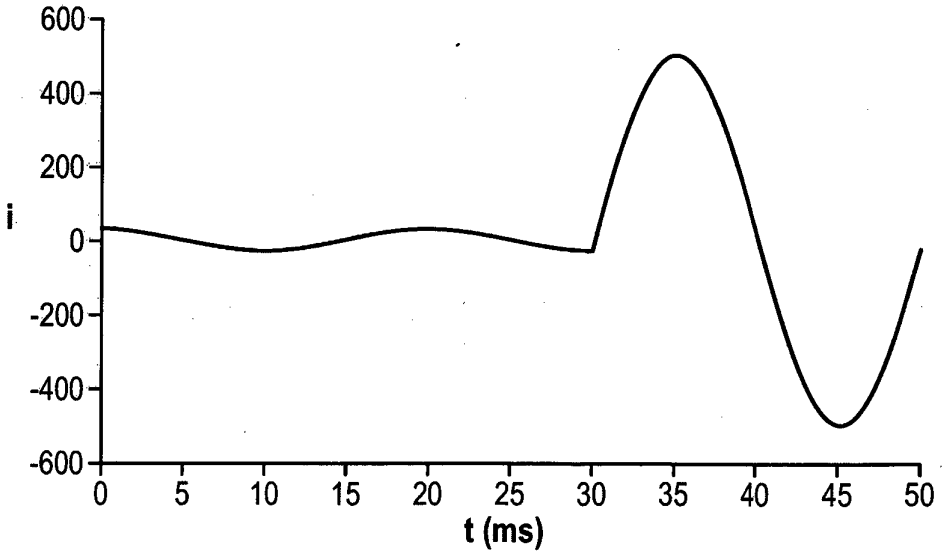


FIG. 9A

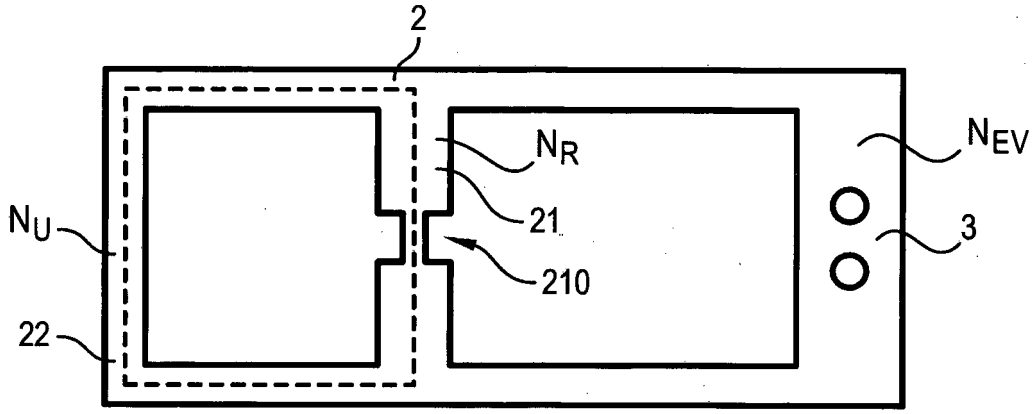


FIG. 9B

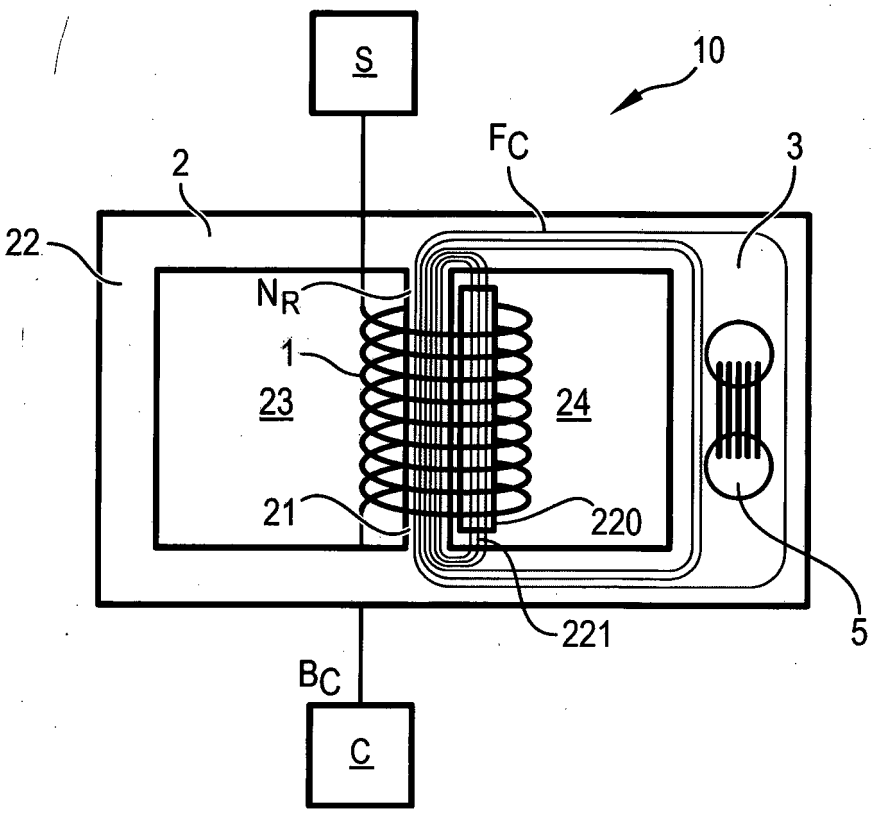


FIG. 10A

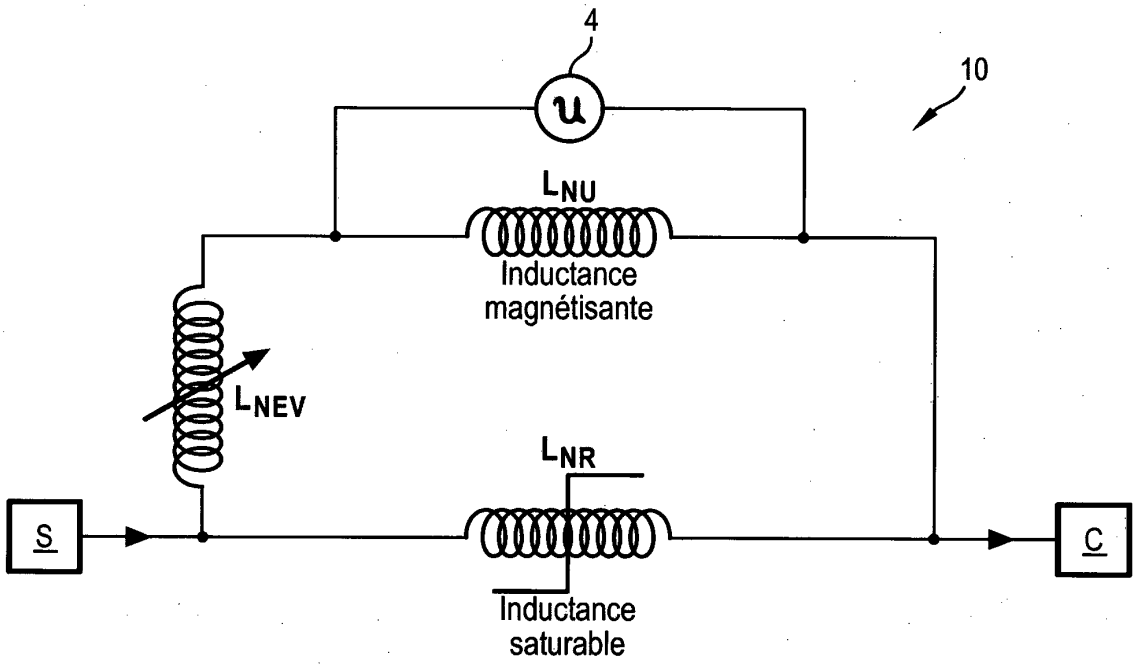


FIG. 10B

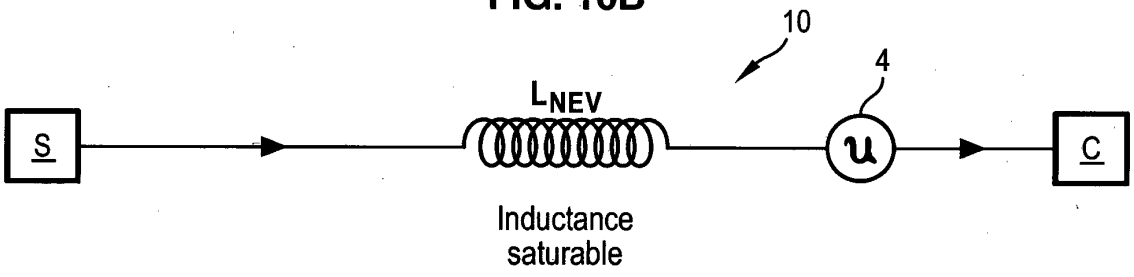


FIG. 10C

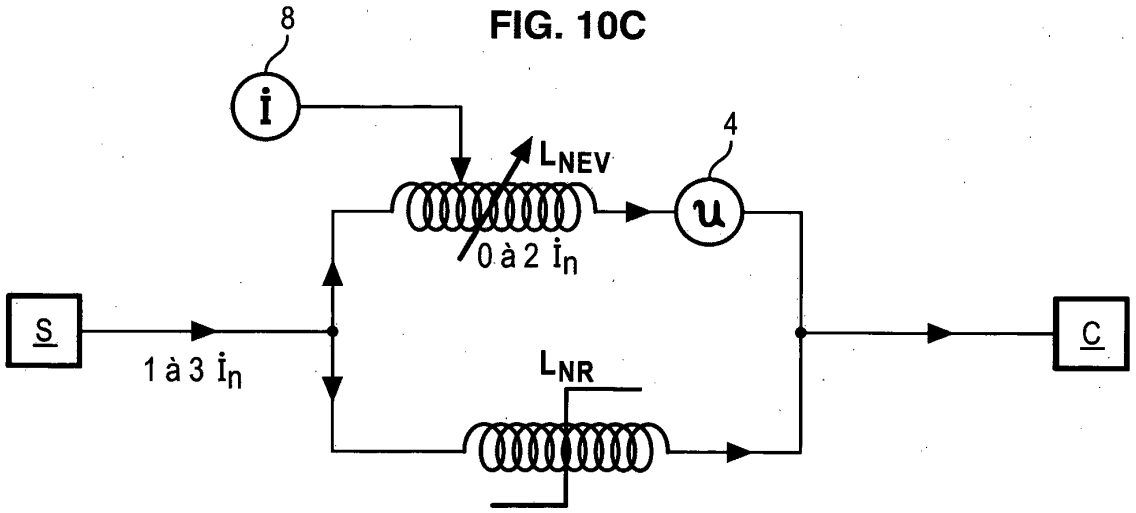


FIG. 10D

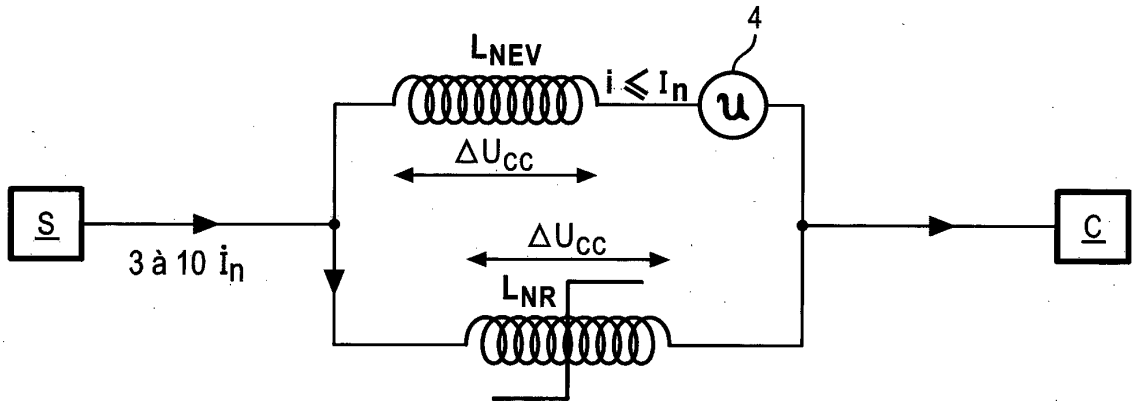


FIG. 11

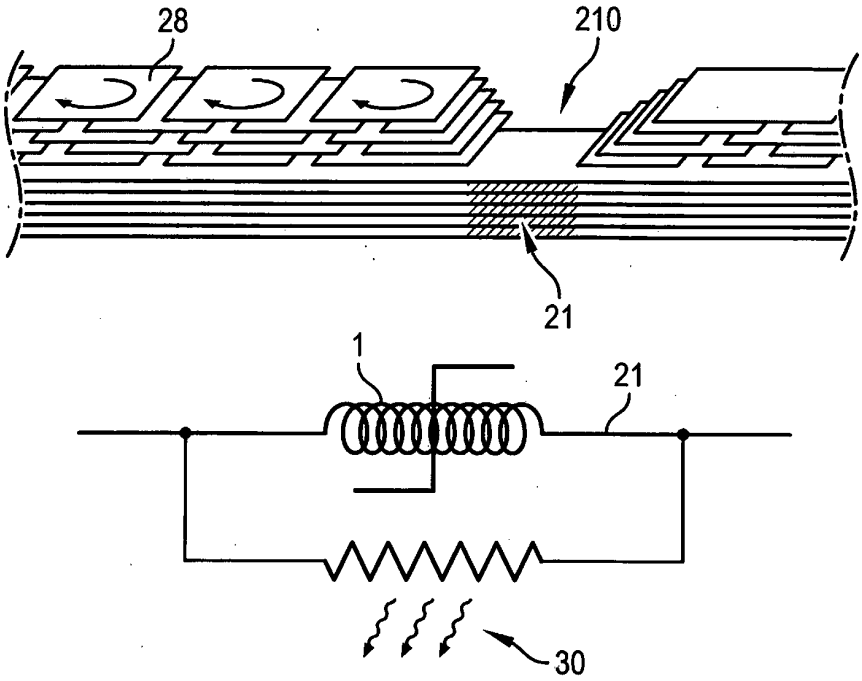


FIG. 12

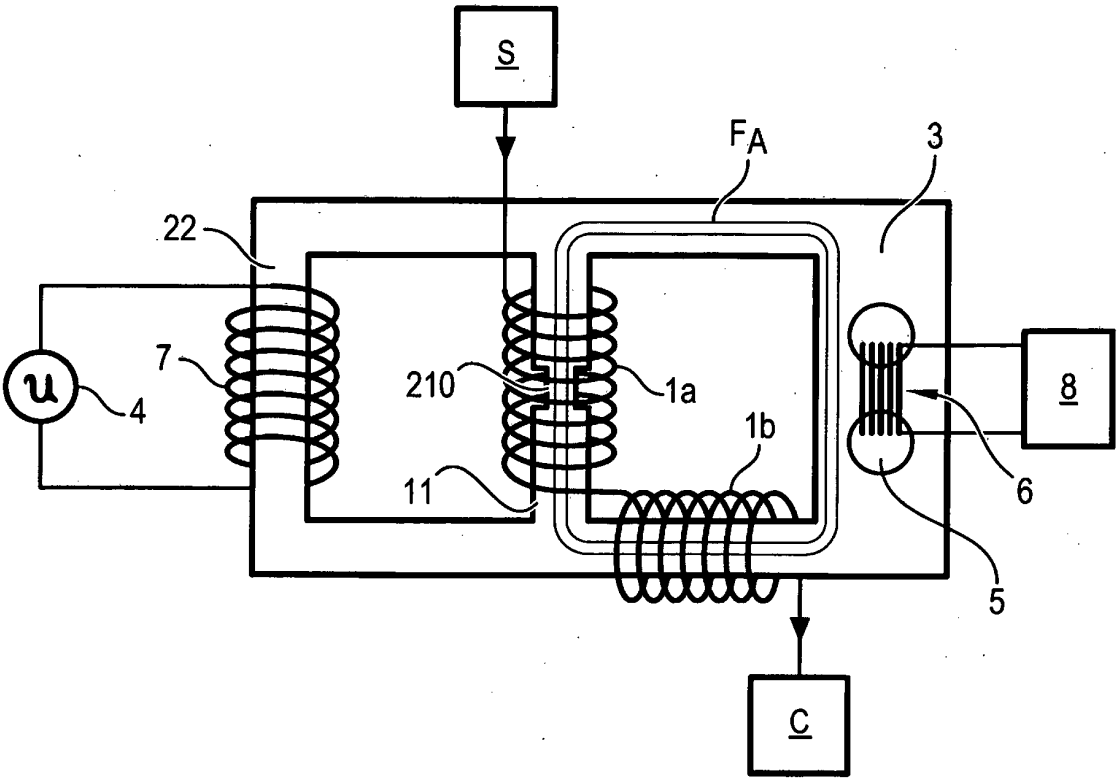


FIG. 13

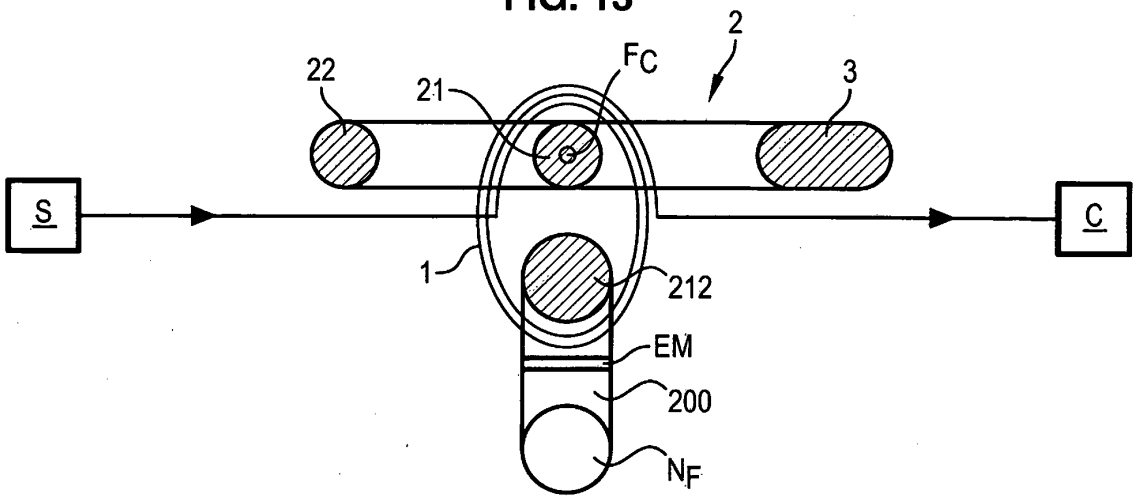


FIG. 14

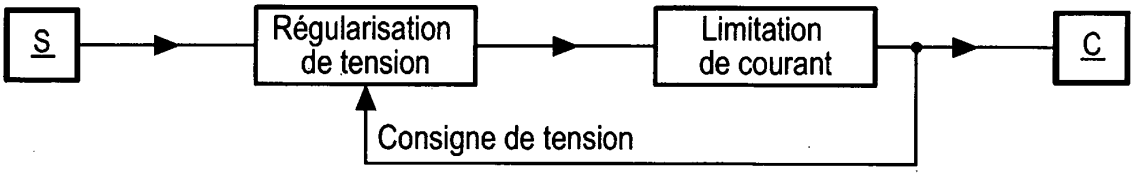
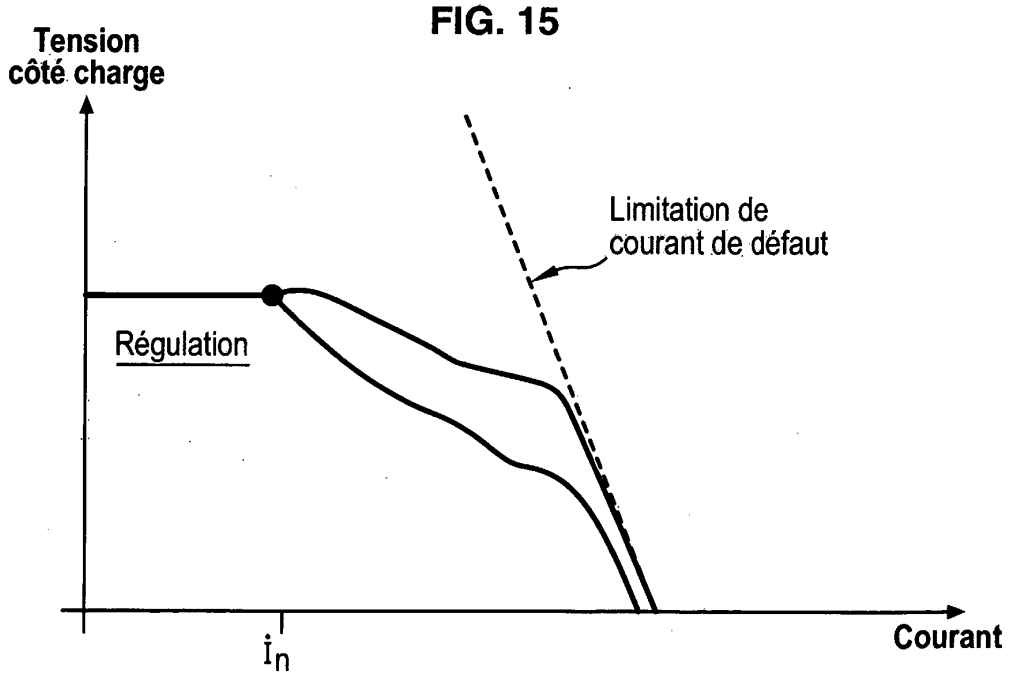


FIG. 15



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 20030076202 A1 **[0004]**