

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 538 645 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
01.03.2006 Bulletin 2006/09

(51) Int Cl.:
H01H 9/54 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **03293050.5**

(22) Date de dépôt: **05.12.2003**

(54) **Dispositif disjoncteur hybride**

Hybrid-Leistungsschalter

Hybrid circuit breaker

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(43) Date de publication de la demande:
08.06.2005 Bulletin 2005/23

(73) Titulaire: **Société Technique pour l'Energie
Atomique
TECHNICATOME
91192 Gif sur Yvette Cedex (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Sellier, Pierre
13510 Eguilles (FR)**

• **Besrest, Ronan
13006 Marseille (FR)**
• **Zimmermann, Claudio
1015 Lausanne (CH)**

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard
Société BREVATOME
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 Paris (FR)**

(56) Documents cités:
EP-A- 1 014 403 DE-A- 10 002 870

EP 1 538 645 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

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention concerne le domaine des dispositifs disjoncteurs notamment pour les réseaux électriques alternatifs ou continus et les systèmes ou équipements électriques en général. Ces dispositifs disjoncteur que l'on insère dans un circuit électrique à protéger possèdent un élément interrupteur qui coupe le courant circulant dans le circuit à protéger dans des conditions anormales de fonctionnement, par exemple en cas de court-circuit apparaissant dans le circuit à protéger.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0002] Traditionnellement les dispositifs disjoncteur sont mécaniques, c'est à dire que la coupure du courant est obtenue uniquement par l'ouverture d'un élément interrupteur mécanique. Un tel élément interrupteur mécanique comporte deux pièces conductrices faisant contact qui sont en contact mécanique lorsque l'élément interrupteur est fermé (fonctionnement normal) et qui se séparent mécaniquement lorsque l'élément interrupteur est ouvert (fonctionnement anormal en cas de surintensité). Il y a généralement un contact mobile et au moins un contact fixe dans ces pièces conductrices faisant contact. Ces dispositifs disjoncteur mécaniques présentent plusieurs inconvénients notamment lorsqu'ils sont traversés par des courants importants.

[0003] La coupure mécanique se traduit par l'établissement d'un arc électrique du fait des énergies importantes accumulées dans le circuit dans lequel le dispositif disjoncteur est monté et qu'il protège.

[0004] Cet arc électrique dégrade d'une part par érosion les pièces conductrices faisant contact et d'autre part le milieu environnant l'élément interrupteur par ionisation. Ainsi le courant met un certain temps à s'interrompre à cause de cette ionisation. Cet arc électrique en dégradant les pièces conductrices faisant contact nécessite des opérations de maintenance contraignantes et coûteuses.

[0005] Pour réduire les méfaits de l'arc électrique inévitable et alléger la maintenance, on place les pièces conductrices faisant contact dans une chambre de coupure, il s'agit d'une enceinte emplies d'un milieu spécifique qui peut être l'air, le vide, un gaz particulier par exemple l'hexafluorure de soufre SF₆ mais qui dans l'avenir sera vraisemblablement interdit pour des raisons environnementales. Ce milieu spécifique est capable de supporter la suppression créée par la formation de l'arc électrique et est destiné à favoriser son extinction.

[0006] De tels dispositifs disjoncteur à élément interrupteur mécanique ont un temps de coupure élevé. Le temps pour que l'élément interrupteur mécanique s'ouvre est de l'ordre de la milliseconde voire de plusieurs millisecondes.

[0007] Un autre inconvénient est qu'ils sont volumineux, les dimensions de la chambre de coupure sont d'autant plus importantes que la tension est haute.

[0008] Les progrès récents de l'électronique de puissance ont permis d'envisager le remplacement de la coupure électromécanique par une coupure électronique via des composants semi-conducteurs de puissance. Des dispositifs disjoncteur dits statiques sont à l'étude.

[0009] Les premiers systèmes utilisant des thyristors de puissance ont vu le jour en basse tension BT (<1kV).

[0010] Puis des prototypes à base de IGBT (abréviation anglo-saxonne de Insulated Gate Bipolar Transistor soit transistor bipolaire à porte isolée) et encore plus récemment à base de IGCT (abréviation anglo-saxonne de integrated gate-commutated thyristor soit thyristor à grille commutée intégrée) ont été testés pour des tensions alternatives de plusieurs kilovolts.

[0011] Ces dispositifs disjoncteur entièrement statiques présentent bien l'intérêt d'une vitesse de coupure accrue (inférieure à la milliseconde), mais possèdent des inconvénients spécifiques aux composants semi-conducteurs. Le courant maximal qu'ils supportent et la tension maximale qu'ils tiennent sont limités. Le dispositif disjoncteur ne peut être temporisé car le composant semi-conducteur qui conduit ne peut supporter le courant de défaut maximal, il faut donc impérativement couper le courant avant d'atteindre cette valeur destructive. Cette coupure se fait en moins d'une demi-alternance dans le cas de courant alternatif.

[0012] Les dispositifs disjoncteurs possèdent des pertes par effet Joule à l'état passant et un dispositif de refroidissement doit être prévu. Il faut également intégrer un système de dissipation de l'énergie présente au moment de la coupure.

[0013] L'utilisation de dispositifs disjoncteur «purement statiques», uniquement à base de composants semi-conducteurs pour des tensions de plusieurs kilovolts et des courants supérieurs au kilo ampère reste donc encore problématique.

[0014] Afin de contourner ces difficultés, des dispositifs disjoncteur hybrides (mécaniques et électroniques) qui utilisent à la fois des semi-conducteurs et un élément interrupteur mécanique, sont actuellement en développement. Un tel dispositif disjoncteur est décrit par exemple dans la demande de brevet WO00/54292.

[0015] Un dispositif disjoncteur 10 similaire à celui décrit dans cette demande de brevet, bien que simplifié, est représenté en figure 1. Ce dispositif disjoncteur 10 est destiné à protéger un circuit électrique matérialisé par une ligne électrique L. Le dispositif disjoncteur 10 est monté en série avec le circuit à protéger L. Le dispositif disjoncteur 10 comporte une branche principale 1 dans laquelle se trouve un élément interrupteur mécanique 2 et une branche auxiliaire 3 montée en parallèle avec la branche principale 1. La branche auxiliaire 3 comporte une cellule de coupure à semi-conducteur 4. Cette cellule de coupure 4 comporte un pont de Graetz 40 avec quatre diodes D et connecté aux bornes d'une diagonale du

pont de Graetz 40 au moins un élément de coupure à semi-conducteur 41 monté en parallèle avec une varistance 42. Cet élément de coupure peut être un thyristor. Cet élément peut être commandable à l'ouverture par exemple un thyristor de type IGCT.

[0016] La signification de l'expression « commandable à l'ouverture » est que l'élément de coupure à semi-conducteur s'ouvre dès qu'on lui applique une commande appropriée.

[0017] Un simple thyristor n'est pas « commandable à l'ouverture ». Il ne s'ouvre, après une commande, qu'à un zéro de courant.

[0018] L'élément de coupure à semi-conducteur 41 est donc soit dans un état passant (fermé) soit dans un état non passant (ouvert), ce qui rend la cellule de coupure à semi-conducteur passante (ouverte) ou non passante (fermée).

[0019] La connexion de la cellule de coupure à semi-conducteur 4 à la branche principale 1 se fait au niveau des extrémités de l'autre diagonale du pont de Graetz 40.

[0020] En fonctionnement normal, l'élément interrupteur mécanique 2 est fermé. Ses deux pièces conductrices faisant contact sont en contact mécanique. L'élément de coupure à semi-conducteur 41 est dans un état non passant. Le circuit L à protéger peut être parcouru par un courant électrique via la branche principale 1 du dispositif disjoncteur c'est à dire via l'élément interrupteur mécanique 2 et ce pratiquement sans pertes par effet Joule. En cas d'apparition d'une surintensité dans le circuit L à protéger et donc dans la branche principale 1 du dispositif disjoncteur, des moyens (non représentés) commandent l'ouverture de l'élément interrupteur mécanique 2 et simultanément la mise à l'état passant de l'élément de coupure à semi-conducteur 41. Un faible arc électrique apparaît au niveau des pièces conductrices faisant contact de l'élément interrupteur mécanique 2 lors de leur séparation. La tension correspondant à cet arc électrique permet au courant qui circule dans le circuit à protéger L de commuter rapidement dans la branche auxiliaire 3 dans laquelle la cellule de coupure 4 semi-conducteur est passante.

[0021] Dès que la distance entre les pièces conductrices faisant contact de l'élément interrupteur mécanique 2 est suffisante pour que l'arc électrique s'éteigne, l'élément de coupure à semi-conducteur 41 de la cellule de coupure 4 est mis à l'état non passant, ce qui permet la coupure finale du courant dans le circuit L à protéger.

[0022] On s'arrange pour que la vitesse d'ouverture de l'élément interrupteur mécanique 2 soit la plus rapide possible de manière à ce que l'arc électrique généré entre les pièces conductrices faisant contact de l'élément interrupteur mécanique 2 ait une énergie la plus faible possible et ne soit donc plus de nature à dégrader les dites pièces. Cet arc électrique joue toutefois un rôle important car c'est la faible tension d'arc (une dizaine de volts) qui polarise l'élément de coupure à semi-conducteur 41 au-dessus de sa tension de seuil le faisant ainsi

passer à l'état passant et fait dévier le courant dans la branche auxiliaire. Le signal de commande est de manière classique une impulsion appliquée sur la gâchette du thyristor 41 au moment de l'ouverture de l'élément interrupteur mécanique 2.

[0023] Ce dispositif disjoncteur hybride 10 résout donc certaines des difficultés techniques des dispositifs disjoncteur purement statiques, mais ses performances sont principalement dépendantes de la vitesse d'ouverture de l'élément interrupteur mécanique 2. Les études ont montré que l'accroissement de la vitesse d'ouverture de l'élément interrupteur mécanique présente une limite physique lorsque l'on augmente le courant et la tension sur une topologie hybride. En effet, pour que l'élément interrupteur mécanique puisse supporter des courants élevés, il faut augmenter la superficie de la zone de contact entre les pièces conductrices formant contact, ce qui augmente la masse de la pièce conductrice mobile et diminue la vitesse d'ouverture. Cette dernière risque de devenir insuffisante pour commuter le courant rapidement dans la branche dérivée et pour produire un arc de faible énergie. Une intensité élevée de courant dans la branche principale nous ramène donc au problème du disjoncteur mécanique entraînant une dégradation du contact mécanique de l'élément interrupteur mécanique 2.

[0024] A ce jour, les dispositifs disjoncteurs, qu'ils soient statiques ou hybrides, ne donnent pas satisfaction notamment dans le cas d'applications haute tension de forte puissance.

[0025] Le document EP-A-1 014 403 décrit un dispositif disjoncteur correspondant au préambule de la revendication 1.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0026] La présente invention a justement comme but de proposer un dispositif disjoncteur hybride qui ne présente pas les inconvénients mentionnés ci dessus.

[0027] Plus précisément un but de l'invention est de proposer un dispositif disjoncteur hybride comportant un élément interrupteur mécanique et un élément de coupure à semi-conducteur apte à conduire un courant continu ou alternatif et dans lequel il n'apparaît pas d'arc électrique lors de l'ouverture de l'élément interrupteur mécanique même si le courant est important.

[0028] Un autre but de l'invention est de proposer un dispositif disjoncteur hybride à maintenance réduite.

[0029] Pour atteindre ces buts, l'invention concerne plus précisément un dispositif disjoncteur comportant une branche principale contenant un élément interrupteur mécanique et une branche auxiliaire contenant une cellule de coupure à semi-conducteur, cette branche auxiliaire étant montée en parallèle avec la branche principale. La branche principale comporte en série avec l'élément interrupteur mécanique un module série d'aide à la commutation comprenant une cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture en parallèle

le avec une impédance. La branche auxiliaire comporte un module parallèle d'aide à la commutation comprenant une impédance, cette impédance incluant au moins un élément de type condensateur.

[0030] L'impédance du module série d'aide à la commutation est de préférence une varistance.

[0031] La cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture peut comporter au moins un ensemble série avec une diode et un thyristor de type IGCT.

[0032] Si le dispositif disjoncteur est bidirectionnel, la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture peut comporter deux ensembles série montés en parallèle tête-bêche.

[0033] La cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire peut comporter au moins un thyristor.

[0034] Si le dispositif disjoncteur est bidirectionnel, la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire peut comporter deux thyristors montés en parallèle tête-bêche.

[0035] Dans un autre mode de réalisation, la cellule de coupure de la branche auxiliaire comporte un thyristor et un pont de Graetz ayant deux diagonales, le thyristor formant une diagonale du pont de Graetz, la branche principale formant l'autre diagonale du pont de Graetz.

[0036] Dans ce mode de réalisation, l'impédance du module parallèle d'aide à la commutation peut comporter un condensateur en série avec le thyristor.

[0037] Une inductance série peut être montée en série avec le condensateur.

[0038] Dans un autre mode de réalisation, l'impédance du module parallèle d'aide à la commutation peut comporter un ensemble formé d'un condensateur et d'une première résistance montés en parallèle, cet ensemble étant en série avec une seconde résistance et avec la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire.

[0039] Une inductance série peut être montée en série avec l'ensemble et la seconde résistance.

[0040] Dans un autre mode de réalisation le module parallèle d'aide à la commutation peut comporter un pont de Graetz ayant deux diagonales, un ensemble parallèle avec le condensateur et une résistance étant connecté aux bornes d'une première diagonale du pont de Graetz, une inductance auxiliaire étant connectée aux bornes de l'autre diagonale, l'une des bornes de la seconde diagonale est reliée à la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire.

[0041] Une inductance série peut être connectée entre le pont de Graetz et la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire.

[0042] Pour être rapide, l'élément interrupteur mécanique peut comporter un contact mobile à entraînement électromagnétique de type Thomson.

[0043] La présente invention concerne également un procédé de déclenchement d'un dispositif disjoncteur ainsi caractérisé. Il consiste, en présence d'une surintensité dans la branche principale, à basculer d'un état passant à un état non passant la

cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture du module série d'aide à la commutation, à basculer d'un état non passant à un état passant la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire,

puis à ouvrir l'élément interrupteur mécanique qui était initialement fermé,

et enfin à basculer, dès l'apparition d'un zéro de courant, de l'état passant à l'état non passant la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0044] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 déjà décrite montre un schéma d'un dispositif disjoncteur hybride de l'art antérieur ;

la figure 2 montre un schéma d'un dispositif disjoncteur selon l'invention ;

les figures 3A, 3B montrent de manière plus détaillée deux modes de réalisation d'un dispositif disjoncteur selon l'invention ;

la figure 4 montre de manière plus détaillée un autre mode de réalisation d'un dispositif disjoncteur selon l'invention ;

la figure 5A montre un exemple d'élément interrupteur mécanique du dispositif disjoncteur et la figure 5B est son circuit équivalent ;

les figures 6A et 6B illustrent les courants circulant dans le dispositif disjoncteur selon l'invention, dans l'élément interrupteur mécanique et dans la cellule de coupure à semi-conducteur de la branche auxiliaire ainsi que la tension aux bornes de l'élément interrupteur mécanique en présence d'une surintensité dans la branche principale.

[0045] Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

[0046] Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

[0047] On va maintenant se reporter à la figure 2 qui montre de manière schématique un dispositif disjoncteur selon l'invention. Ce dispositif comporte comme dans l'art antérieur une branche principale 1 contenant un élément interrupteur mécanique 2 et une branche auxiliaire 3 montée en parallèle avec la branche principale 1 et contenant une cellule de coupure à semi-conducteur 4. Cette cellule de coupure à semi-conducteur est soit dans

un état passant soit dans un état non passant. Par rapport au schéma de la figure 1, le dispositif disjoncteur selon l'invention comporte dans la branche principale 1 un module série d'aide à la commutation M2 formé d'une autre cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 montée en parallèle avec une impédance Z1. L'expression « module série » est employée pour indiquer que ce module se trouve dans la branche principale 1. Cette cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 est soit dans un état passant ou soit dans un état non passant. Le module série d'aide à la commutation M2 est connecté en série avec l'élément interrupteur mécanique 2. De plus, la branche auxiliaire 3 comporte en plus de la cellule de coupure à semi-conducteur 4 un module parallèle d'aide à la commutation M4 formé d'une impédance Z2 avec au moins un élément de type condensateur C. L'expression « module parallèle » est employée pour indiquer que le module est dans la branche auxiliaire 3 en parallèle.

[0048] Le terme « impédance » employé dans ce contexte désigne une partie de circuit manifestant une opposition au passage d'un courant quelconque (continu ou alternatif), une telle partie de circuit est réalisée à base de composants de type bobine d'inductance et/ou condensateur et/ou résistance.

[0049] De préférence un tel dispositif disjoncteur sera bidirectionnel pour pouvoir fonctionner en courant alternatif mais ce n'est pas une obligation, il peut être monodirectionnel.

[0050] On peut se référer à la figure 3A qui montre en détails un premier mode de réalisation d'un dispositif disjoncteur selon l'invention. Ce dispositif disjoncteur est bidirectionnel, il convient pour une phase d'un réseau électrique alternatif mais également pour un réseau électrique continu. Les parties dessinées en pointillées sont superflues dans un dispositif disjoncteur monodirectionnel.

[0051] Dans le module série d'aide à la commutation M2, la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 comporte au moins un ensemble série formé d'une diode D1 et d'un composant semi-conducteur commandable à l'ouverture IG2. Un tel composant peut être un thyristor de type IGCT, un thyristor classique ne conviendrait pas car il ne s'ouvre qu'au zéro de courant. On emploie deux ensembles série lorsque le dispositif disjoncteur doit être bidirectionnel et dans ce cas les deux ensembles sont montés en parallèle tête-bêche. Sur la figure 3, la connexion du second ensemble IG'2, D'1 est représentée en pointillés pour montrer que le second ensemble est optionnel. Cette cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 est montée en parallèle avec une impédance Z1 qui est de type varistance V1. Cette varistance qui peut être de type MOV (metal oxide varistor soit varistance à oxyde métallique) est dimensionnée pour dissiper de l'énergie qui dans le passé était dissipée lors de l'établissement de l'arc électrique. L'ensemble de la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 et de l'im-

pédance Z1 est connecté en série avec l'élément interrupteur mécanique 2. La varistance V1 peut supporter une tension ne représentant qu'une fraction de la tension du réseau, par exemple la moitié.

[0052] L'élément interrupteur mécanique 2 peut être basé sur l'utilisation de forces électromagnétiques pour la mise en mouvement d'un contact mobile 2.1, le but étant d'obtenir l'établissement d'un saut indicel de force. Un exemple d'élément interrupteur mécanique 2 est illustré sur la figure 5A. Cet élément interrupteur mécanique est de type Thomson sans matériau ferromagnétique. Le principe connu se base sur la loi de Lenz.

[0053] Le contact mobile 2.1 est solidaire d'une pièce mobile 2.2 en matériau conducteur amagnétique. Cette pièce 2.2 coopère avec un circuit de propulsion comprenant une bobine 2.3 de préférence plate et un circuit d'alimentation 2.4. Le choix de la bobine plate 2.3 permet d'obtenir un champ magnétique vertical à proximité de la pièce mobile 2.2. Lorsque la bobine 2.3 est excitée par un courant intense en impulsions délivré par le circuit d'alimentation 2.4, un contre-courant de sens inverse prend naissance dans la pièce mobile 2.2 et à cause de l'interaction entre ces deux courants, une force de répulsion F apparaît entre la bobine plate 2.3 et la pièce mobile 2.2. Cette force de répulsion F provoque un déplacement de la pièce mobile 2.2 qui était dans une position initiale de repos. Dans cette position initiale de repos, le contact mobile 2.1 est en contact électrique avec au moins un contact fixe 2.0 (relié au circuit L à protéger) et l'élément interrupteur mécanique 2 est fermé. La force de répulsion F qui s'applique sur la pièce mobile 2.2 vise à séparer le contact mobile 2.1 du contact fixe 2.0 et donc à ouvrir l'élément interrupteur mécanique 2. Grâce à sa forme évidée en forme d'anneau, la pièce mobile 2.2, est propulsée verticalement en une translation. De la sorte, on réduit la masse en mouvement par rapport à une pièce pleine, ainsi que l'énergie nécessaire à la propulsion et/ou on augmente la vitesse de déplacement. D'autres géométries de pièce mobile sont possibles par exemple un disque plein. Lorsque la bobine 2.3 n'est plus excitée, la pièce mobile 2.2 reprend sa position de repos et l'élément interrupteur 2 est de nouveau fermé.

[0054] Il est possible que la pièce mobile 2.2 et le contact mobile 2.1 soient confondus. Dans cette configuration, la pièce mobile serait par exemple en aluminium revêtu d'argent pour assurer également la fonction de contact électrique.

[0055] On se réfère à la figure 5B qui est un circuit équivalent du circuit de propulsion coopérant avec la pièce mobile 2.2 ainsi que du circuit d'alimentation 2.4. L1 représente l'inductance de la bobine plate 2.3, R10 est sa résistance. L2 représente l'inductance de la pièce mobile 2.2 et R11 est sa résistance. M représente l'inductance mutuelle entre la bobine plate 2.3 et la pièce mobile 2.2.

[0056] Ce circuit équivalent est relié au circuit d'alimentation 2.4 qui est formé d'au moins un condensateur C10 destiné à être chargé à une tension Uo avant une

décharge, d'une diode D10 montée en parallèle avec le condensateur C10 et d'un thyristor TH10 inséré entre l'ensemble parallèle C10, D10 et le circuit équivalent.

[0057] On se réfère de nouveau à la figure 3A. La cellule de coupure à semi-conducteur 4 qui se trouve dans la branche auxiliaire 3 est formée de deux thyristors TH1, TH'1 montés tête bêche. L'un des thyristors TH'1 peut être omis dans un montage mono directionnel.

[0058] Le module parallèle d'aide à la commutation M4 est monté en série avec la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3. Il comporte une résistance R2 montée en série avec un ensemble parallèle formé d'une résistance R1 en parallèle avec un condensateur C1. Le module parallèle d'aide à la commutation M4 peut également comprendre en série avec la résistance R2 et l'ensemble parallèle R1, C1, une inductance série LS1. Cette inductance série LS1 sert à limiter la vitesse de montée du courant lors de la mise en conduction de la cellule de coupure à semi-conducteur 4 pour obtenir un enclenchement correct même en courant continu. L'impédance Z2 comporte le condensateur C1, les résistances R1 et R2 et l'inductance série LS1.

[0059] La figure 3B illustre un autre mode de réalisation d'un dispositif disjoncteur selon l'invention dérivé de celui de la figure 3A.

[0060] Sur ce schéma, on retrouve la même configuration dans la branche principale 1 et la même configuration pour la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3. La différence se situe au niveau du module parallèle d'aide à la communication M4. Ce module parallèle M4 comporte un pont de Graetz Pb avec quatre diodes D21 à D24. Dans une première diagonale du pont de Graetz Pb est monté un ensemble parallèle avec un condensateur C11 et une résistance R11. Une inductance auxiliaire LA1 est montée en parallèle aux bornes de l'autre diagonale du pont de Graetz Pb.

[0061] L'une des extrémités de la seconde diagonale est reliée à la branche principale 1. L'autre extrémité de la seconde diagonale est reliée à la cellule de coupure à semi-conducteur 4 via l'inductance série LS1 (si elle est présente).

[0062] L'impédance Z2 comporte le condensateur C11, la résistance R11, l'inductance auxiliaire LA1 et l'inductance série LS1.

[0063] La figure 4 illustre un autre mode de réalisation d'un dispositif disjoncteur selon l'invention. Par rapport aux figures 3A, 3B, on retrouve la même configuration dans la branche principale 1, c'est à dire l'élément interrupteur mécanique 2 en série avec le module série d'aide à la commutation M2.

[0064] Dans la branche auxiliaire 3, la cellule de coupure à semi-conducteur 4 comporte un pont de Graetz Pa avec quatre diodes D11 à D14 et monté dans une diagonale du pont de Graetz Pa un thyristor THa. Ce pont de Graetz Pa est connecté aux bornes de l'ensemble série formé du module série d'aide à la commutation M2 et de l'élément interrupteur mécanique 2. Cette con-

nexion se fait au niveau des extrémités de l'autre diagonale du pont de Graetz Pa. Le module parallèle d'aide à la commutation M4 comprend un condensateur Ca qui est connecté dans la diagonale en série avec le thyristor THa. Comme précédemment, une inductance série LS1 peut être insérée entre le thyristor THa et le condensateur Ca. L'impédance Z2 comporte le condensateur Ca et l'inductance série LS1.

[0065] Dans les modes de réalisation qui viennent d'être décrits, les composants semi-conducteurs commandables à l'ouverture de la branche principale 1 peuvent être des thyristors de type IGCT, les thyristors simples ne conviennent pas car on a besoin de commander l'ouverture sans attendre un passage à zéro du courant.

[0066] On va voir maintenant le fonctionnement d'un tel dispositif disjoncteur en se reportant à la figure 2. A l'état normal, c'est à dire lorsque l'intensité du courant circulant dans le circuit à protéger L est normale, l'élément interrupteur mécanique 2 est fermé et le module série d'aide à la commutation M2 passant c'est à dire que la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 est dans un état passant. La cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 est dans un état non passant. Tout le courant du circuit à protéger L traverse la branche principale 1 du dispositif disjoncteur.

[0067] En présence d'une surintensité dans le circuit à protéger L et donc dans la branche principale 1 du dispositif disjoncteur selon l'invention, la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 du module série d'aide à la commutation M2 bascule dans un état non passant. La tension aux bornes de l'impédance Z1 (varistance V1) croît jusqu'à sa valeur de seuil. La tension aux bornes du module série d'aide à la commutation M2 augmente, l'impédance Z1 s'opposant au passage de courant dans la branche principale 1.

[0068] La cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 devient passante. Le courant circulant dans le circuit à protéger L est dévié dans la branche auxiliaire 3, ce qui détourne l'énergie qui sinon aurait été dissipée dans la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 de la branche principale 1 au risque de la détruire.

[0069] Le courant dans l'élément interrupteur mécanique 2 tend vers zéro et la tension à ses bornes est nulle. L'élément interrupteur mécanique 2 est alors ouvert sans provoquer l'établissement d'un arc électrique.

[0070] Après l'ouverture de l'élément interrupteur mécanique 2, la tension à ses bornes devient immédiatement égale à la tension qui était présente aux bornes de l'impédance Z2 car le courant s'annulant dans l'impédance Z1, la tension à ses bornes devient nulle. Toute la tension de la branche auxiliaire 3 s'applique sur l'élément interrupteur mécanique 2 qui est ouvert.

[0071] Le courant circulant dans la branche auxiliaire 3 est limité par la présence de l'impédance Z2 qui s'oppose à son passage et la valeur maximale de ce courant est significativement diminuée. L'élément de type con-

densateur C se charge. Lorsqu'une tension suffisante s'établit aux bornes de l'impédance Z2, la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 est rendue non passante. Le passage à l'état non passant est provoqué par le passage à zéro du courant dans la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3. En mode bidirectionnel, on peut attendre plusieurs alternances d'oscillation du circuit LC, formé module parallèle d'aide à la commutation M4 et de l'inductance du circuit à protéger L, avant de commander l'ouverture du thyristor TH1 ou TH'1 ce qui produit une temporisation. On a une fonction de limiteur de courant avant la coupure.

[0072] A l'état final, l'élément interrupteur mécanique 2 est ouvert, la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 est à l'état non passant ainsi que la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 du module série d'aide à la commutation M2. Plus aucun courant ne circule dans le circuit à protéger L et le dispositif disjoncteur a joué son rôle de protection.

[0073] L'intérêt de la variante de la figure 3B est de réaliser la fonction de limitation du courant en partie par l'impédance de l'inductance auxiliaire LA1. Après le déclenchement dans la branche principale 1 et la dérivation du courant dans la branche parallèle 3 une partie du courant passe dans l'inductance auxiliaire LA1 avant la coupure finale par les thyristors TH1, TH'1 de la cellule de coupure à semi-conducteur 4. Ceci permet de diminuer les contraintes de dimensionnement sur le condensateur C11 qui est utilisé dans ce cas, essentiellement dans son rôle de déviation du courant de la branche principale 1 vers la branche parallèle 3.

[0074] Avec cette structure, il est de plus possible de jouer sur l'angle d'amorçage des thyristors TH1, TH'1. En effet, pendant la phase de conduction dans l'inductance auxiliaire LA1, une commande retardée de l'angle d'amorçage des thyristors permet de limiter le courant de défaut à la valeur souhaitée. Ceci améliore la fonction de limitation du courant du disjoncteur avant ouverture.

[0075] On va maintenant commenter, en se référant aux figures 6A, 6B, des courbes qui simulent le courant global A traversant le dispositif disjoncteur, le courant B traversant l'élément interrupteur mécanique 2 et le courant D traversant la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 au moment du déclenchement du dispositif disjoncteur en présence d'une surintensité dans le circuit L qu'il protège. A cause de cette surintensité le courant B dans l'élément interrupteur mécanique 2 croît jusqu'à un instant t0 correspondant à l'instant où la cellule de coupure à semi-conducteur commandable à l'ouverture 5 du module série d'aide à la commutation M2 bascule à l'état non passant. Il prend alors une valeur d'environ 2500 A. L'intervalle de temps entre t0 et le début de la montée du courant B vaut environ 100 microsecondes.

[0076] Le courant B dans l'élément interrupteur mécanique 2 passe à zéro. Ce passage à zéro prend un certain

temps lorsqu'il y a inductance série LS1 dans le module parallèle d'aide à la commutation M4. A l'instant t0, le courant D traversant la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 est le courant provenant du circuit L détourné de la branche principale 1. Ce courant D atteint un maximum (environ 5000 A) puis décroît à cause de la présence dans l'impédance Z2 de l'élément type condensateur C qui se charge. Le courant D finit par s'annuler à un instant t1 et la cellule de coupure à semi-conducteur 4 de la branche auxiliaire 3 est forcée à l'état non passant. L'intervalle de temps entre t0 et t1 vaut environ 450 microsecondes.

[0077] La figure 6B qui est un zoom de la figure 6A autour de l'instant t0, représente en plus l'allure de la tension E aux bornes de l'élément interrupteur mécanique 2. Cette tension E est nulle en même temps que le courant B après t0, ce qui permet d'ouvrir l'élément interrupteur mécanique 2 sans engendrer d'arc électrique. Cette ouverture se fait à un instant t2. L'intervalle de temps entre t0 et t2 vaut environ 20 microsecondes. Ensuite la tension E aux bornes de l'élément interrupteur mécanique 2 commence à croître et atteint la tension qui était présente aux bornes de l'impédance Z2.

[0078] Les avantages d'un dispositif disjoncteur selon l'invention sont appréciables.

[0079] Un tel dispositif disjoncteur est apte à fonctionner aussi bien basse tension A ou B qu'en haute tension A ou B. Ces tensions peuvent être des tensions continues ou alternatives.

[0080] Un tel dispositif disjoncteur possède un élément interrupteur mécanique qui peut fonctionner dans un environnement normal. Cela signifie qu'il peut fonctionner sans être confiné dans une chambre de coupure dans une ambiance gazeuse appropriée ou sous vide.

[0081] Puisque aucun arc électrique n'apparaît au moment de l'ouverture de l'élément interrupteur mécanique, il n'y a pas de dégradation du contact mécanique et donc pas d'usure importante des pièces conductrices formant contact. La maintenance est réduite, les coûts sont diminués. La reproductibilité des opérations d'ouverture de l'élément interrupteur mécanique est garantie.

[0082] Il possède une vitesse de coupure qui est grande grâce à la présence des cellules de coupure à semi-conducteur sans pour autant nécessiter un élément interrupteur mécanique rapide. Il n'y a donc pas de nouvelle technologie d'élément de interrupteur mécanique à développer.

[0083] Grâce à la présence du composant semi-conducteur commandable à l'ouverture de la branche principale, les pertes par effet Joule en conduction sont réduites. Un dispositif de refroidissement passif peut être utilisé.

[0084] Un tel dispositif disjoncteur est compact. Son encombrement est beaucoup plus faible que celui des configurations avec chambre de coupure.

[0085] Une temporisation est possible en mode bidirectionnel car il est possible que le dispositif disjoncteur hybride fonctionne pendant un certain temps avec sa

branche auxiliaire 3 en conduction en laissant le circuit LC (formé du condensateur C, de l'inductance série LS1 du module parallèle d'aide à la commutation M4 et de l'inductance du circuit à protéger L) osciller avant de le couper par la cellule de coupure à semi-conducteur 4. Pendant cette période le courant est limité par les impédances de la branche auxiliaire 3.

[0086] Si la coupure a lieu au moment d'un zéro de courant, l'énergie accumulée dans le circuit à protéger est nulle et la dissipation d'énergie est minimisée.

Revendications

1. Dispositif disjoncteur comportant une branche principale (1) contenant un élément interrupteur mécanique (2) et une branche auxiliaire (3) contenant une cellule de coupure à semi-conducteur (4), cette branche auxiliaire (3) étant montée en parallèle avec la branche principale (1), **caractérisé en ce que** la branche principale (1) comporte en série avec l'élément interrupteur mécanique (2) un module série d'aide à la commutation (M2) comprenant une cellule de coupure à semi-conducteur (5) commandable à l'ouverture en parallèle avec une impédance (Z1) et **en ce que** la branche auxiliaire (3) comporte un module parallèle d'aide à la commutation (M4) comprenant une impédance (Z2), cette impédance (Z2) incluant au moins un élément de type condensateur (C).
2. Dispositif disjoncteur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'impédance (Z1) du module série d'aide à la commutation (M2) est une varistance (V1).
3. Dispositif disjoncteur selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la cellule de coupure à semi-conducteur (5) commandable à l'ouverture (M2) comporte au moins un ensemble série (D1, IG2) avec une diode et un thyristor de type IGCT.
4. Dispositif disjoncteur selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'il** comporte deux ensembles série (D1, IG2, D'1, IG'2) montés en parallèle tête-bêche.
5. Dispositif disjoncteur selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire (3) comporte au moins un thyristor (THa).
6. Dispositif disjoncteur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la cellule de coupure à semi-conducteur (4) comporte deux thyristors (TH1, TH'1) montés en parallèle tête-bêche.
7. Dispositif disjoncteur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire (3) comporte un thyristor (THa) et un pont de Graetz (D11, D12, D13, D14) ayant deux diagonales, le thyristor (THa) formant une diagonale du pont de Graetz, la branche principale (1) formant l'autre diagonale du pont de Graetz.
8. Dispositif disjoncteur selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'impédance (Z2) du module parallèle d'aide à la commutation (M4) comporte un condensateur (Ca) en série avec le thyristor (THa).
9. Dispositif disjoncteur selon la revendications 8, **caractérisé en ce qu'une** inductance série est montée entre le condensateur (Ca) et le thyristor (THa).
10. Dispositif disjoncteur selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** l'impédance (Z2) du module parallèle d'aide à la commutation (M4) comporte un ensemble formé d'un condensateur (C1) et d'une première résistance (R1) montés en parallèle, cet ensemble étant en série avec une seconde résistance (R2) et avec la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire (3).
11. Dispositif disjoncteur selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'une** inductance série (LS1) est montée en série avec l'ensemble et la seconde résistance (R2).
12. Dispositif disjoncteur selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le module parallèle d'aide à la commutation (M4) comporte un pont de Graetz (Pb) ayant deux diagonales, un ensemble parallèle avec le condensateur (C11) et une résistance (R11) étant connecté aux bornes d'une première diagonale du pont de Graetz, une inductance auxiliaire (LA1) étant connectée aux bornes de la seconde diagonale, l'une des bornes de la seconde diagonale étant reliée à la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire (3).
13. Dispositif disjoncteur selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'une** inductance série (LS1) est montée entre le pont de Graetz (Pb) et la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire.
14. Dispositif disjoncteur selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** l'élément interrupteur mécanique (2) comporte un contact mobile (2.1) à entraînement électromagnétique de type Thomson.
15. Procédé de déclenchement d'un dispositif disjoncteur selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** consiste, en présence d'une surintensité dans la branche principale (1) :

à basculer d'un état passant à un état non passant la cellule de coupure à semi-conducteur (5) commandable à l'ouverture,
à basculer d'un état non passant à un état passant la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire (3),
puis à ouvrir l'élément interrupteur mécanique (2) qui était initialement fermé,
et enfin à basculer, dès l'apparition d'un zéro de courant, de l'état passant à l'état non passant la cellule de coupure à semi-conducteur (4) de la branche auxiliaire (3).

Patentansprüche

1. Leistungsschutzschalter mit einem Hauptzweig (1), der ein mechanisches Unterbrecherelement (2) enthält, und einem Nebenzweig (3), der eine Halbleiterschaltzelle (4) enthält, wobei dieser Nebenzweig (3) mit dem Hauptzweig (1) parallel geschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hauptzweig (1) in Reihe mit dem mechanischen Unterbrecherelement (2) ein in Reihe geschaltetes Umschalthilfsmodul (M2) enthält, das eine mit einer Impedanz (Z1) parallel geschaltete aufsteuerbare Halbleiterschaltzelle (5) aufweist, und dass der Nebenzweig (3) ein parallel geschaltetes Umschalthilfsmodul (M4) mit einer Impedanz (Z2) enthält, wobei diese Impedanz (Z2) zumindest ein Kondensatorelement (C) umfasst.
2. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Impedanz (Z1) des in Reihe geschalteten Umschalthilfsmodul (M2) ein Varistor (V1) ist.
3. Leistungsschutzschalter nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aufsteuerbare (M2) Halbleiterschaltzelle (5) zumindest eine in Reihe geschaltete Einheit (D1, IG2) mit einer Diode und einem Thyristor vom Typ IGCT enthält.
4. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** er zwei in Reihe geschaltete Einheiten (D1, IG2, D'1, IG'2) enthält, die antiparallel geschaltet sind.
5. Leistungsschutzschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs (3) zumindest einen Thyristor (THa) enthält.
6. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halbleiterschaltzelle (4) zwei Thyristoren (TH1, TH'1) enthält, die antiparallel geschaltet sind.
7. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs (3) einen Thyristor (THa) und eine Graetz-Brücke (D11, D12, D13, D14) mit zwei Diagonalen enthält, wobei der Thyristor (THa) eine Diagonale der Graetz-Brücke bildet und wobei der Hauptzweig (1) die andere Diagonale der Graetz-Brücke ist.
8. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Impedanz (Z2) des parallel geschalteten Umschalthilfsmoduls (M4) einen Kondensator (Ca) in Reihe mit dem Thyristor (THa) enthält.
9. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine in Reihe geschaltete Induktivität zwischen Kondensator (Ca) und Thyristor (THa) geschaltet ist.
10. Leistungsschutzschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Impedanz (Z2) des parallel geschalteten Umschalthilfsmoduls (M4) eine Einheit enthält, die aus einem Kondensator (C12) und einem ersten Widerstand (R1) gebildet ist, die parallel geschaltet sind, wobei diese Einheit in Reihe mit einem zweiten Widerstand (R2) und mit der Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs (3) geschaltet ist.
11. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine in Reihe geschaltete Induktivität (LS1) in Reihe mit der Einheit und dem zweiten Widerstand (R2) geschaltet ist.
12. Leistungsschutzschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das parallel geschaltete Umschalthilfsmodul (M4) eine Graetz-Brücke (Pb) mit zwei Diagonalen enthält, wobei eine parallel geschaltete Einheit mit dem Kondensator (C11) und einem Widerstand (R11) an die Anschlussklemmen einer ersten Diagonalen der Graetz-Brücke angeschlossen ist, wobei eine Nebeninduktivität (La1) an die Anschlussklemmen der zweiten Diagonale angeschlossen ist, wobei eine der Anschlussklemmen der zweiten Diagonale mit der Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs (3) verbunden ist.
13. Leistungsschutzschalter nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine in Reihe geschaltete Induktivität (LS1) zwischen der Graetz-Brücke (Pb) und der Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs geschaltet ist.
14. Leistungsschutzschalter nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mechanische Unterbrecherelement (2) einen elektro-

magnetisch angetriebenen beweglichen Kontakt (2.1) vom Typ Thomson enthält.

15. Verfahren zum Auslösen eines Leistungsschutzschalters nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es darin besteht, bei einer vorhandenen Überlast im Hauptzweig (1)

- die aufsteuerbare Halbleiterschaltzelle (5) von einem durchgängigen Zustand in einen nicht durchgängigen Zustand umzuschalten,
- die Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs (3) von einem nicht durchgängigen Zustand in einen durchgängigen Zustand umzuschalten,
- das ursprünglich geschlossene mechanische Unterbrecherelement dann zu öffnen,
- und schließlich bei Auftreten eines Nulldurchgangs die Halbleiterschaltzelle (4) des Nebenzweigs (3) von dem durchgängigen Zustand in den nicht durchgängigen Zustand umzuschalten.

Claims

1. Circuit breaker device comprising a main branch (1) comprising a mechanical switch element (2) and an auxiliary branch (3) containing a semiconductor breaking cell (4), this auxiliary branch (3) being mounted in parallel with the main branch (1), **characterised in that** the main branch (1) comprises, in series with the mechanical switch element (2), a serial switching assistance module (M2) comprising a semiconductor breaking cell (5) controllable in opening in parallel with an impedance (Z1) and **in that** the auxiliary branch (3) comprises a parallel switching assistance module (M4) comprising an impedance (Z2), this impedance (Z2) including at least one capacitor type element (C).
2. Circuit breaker device according to claim 1, **characterised in that** the impedance (Z1) of the serial switching assistance module (M2) is a varistance (V1).
3. Circuit breaker device according to either claim 1 or 2, **characterised in that** the semiconductor breaking cell (5) controllable in opening comprises at least one serial assembly (D1, IG2) with a diode and an IGCT type thyristor.
4. Circuit breaker device according to claim 3, **characterised in that** it comprises two series assemblies (D1, IG2, D'1, IG'2) installed head-foot in parallel.
5. Circuit breaker device according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** the semiconductor

breaking cell (4) in the auxiliary branch (3) comprises at least one thyristor (THa).

6. Circuit breaker device according to claim 5, **characterised in that** the semiconductor breaking cell (4) comprises two thyristors (TH1, TH'1) mounted head-foot in parallel.
7. Circuit breaker device according to claim 5, **characterised in that** the semiconductor breaking cell (4) in the auxiliary branch (3) comprises a thyristor (THa) and a Graetz bridge (D11, D12, D13., D14) with two diagonals, the thyristor (THa) forming a diagonal of the Graetz bridge, the main branch (1) forming the other diagonal of the Graetz bridge.
8. Circuit breaker device according to claim 7, **characterised in that** the impedance (Z2) of the parallel switching assistance module (M4) comprises a capacitor (Ca) in series with the thyristor (THa).
9. Circuit breaker device according to claim 8, **characterised in that** a series inductance is mounted in series between the capacitor (Ca) and the thyristor (THa).
10. Circuit breaker device according to any one of claims 1 to 6, **characterised in that** the impedance (Z2) of the parallel switching assistance module (M4) comprises an assembly formed of a capacitor (C1) and a first resistance (R1) installed in parallel, this assembly being installed in series with a second resistance (R2) and with the semiconductor breaking cell (4) in the auxiliary branch (3).
11. Circuit breaker device according to claim 10, **characterised in that** a series inductance (LS1) is mounted in series with the assembly and the second resistance (R2).
12. Circuit breaker device according to any one of claims 1 to 6, **characterised in that** the parallel switching assistance module (M4) comprises a Graetz bridge (Pb) with two diagonals, an assembly parallel with the capacitor (C11) and a resistance. (R11) being connected to the terminals of a first diagonal of the Graetz bridge, an auxiliary inductance (LA1) being connected to the terminals of a second diagonal, one of the terminals of the second diagonal being connected to the semiconductor breaking cell (4) in the auxiliary branch (3).
13. Circuit breaker device according to claim 12, **characterised in that** a series inductance (LS1) is connected between the Graetz bridge (Pb) and the semiconductor breaking cell (4) in the auxiliary branch.
14. Circuit breaker device according to any one of claims

1 to 13, **characterised in that** the mechanical switch element (2) comprises a Thomson type mobile contact (2.1) with electromagnetic drive.

15. Method for triggering a circuit breaker device according to any one of the above claims, **characterised in that** it consists of the following, when there is an overcurrent in the main branch (1):

switching the semiconductor breaking cell (5) 10
controllable in opening, from a conducting state to a non-conducting state,
switching the semiconductor breaking cell (4) in the auxiliary branch (3), from a non-conducting state to a conducting state, 15
then opening the mechanical switch element (2) that was initially closed,
and finally switching the semiconductor breaking cell (4) in the auxiliary branch (3) from the conducting state to the non-conducting state as soon as the current becomes zero. 20

25

30

35

40

45

50

55

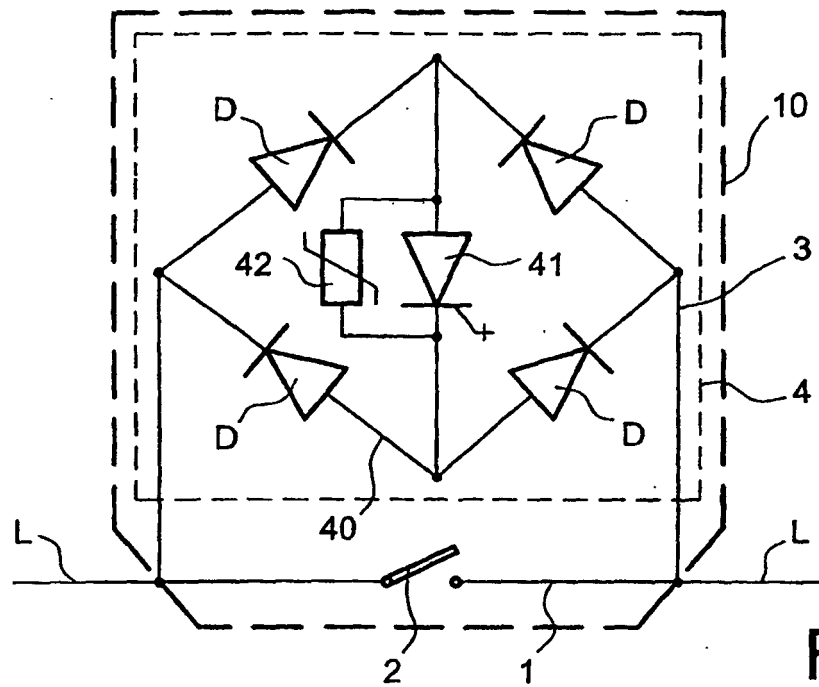


FIG. 1

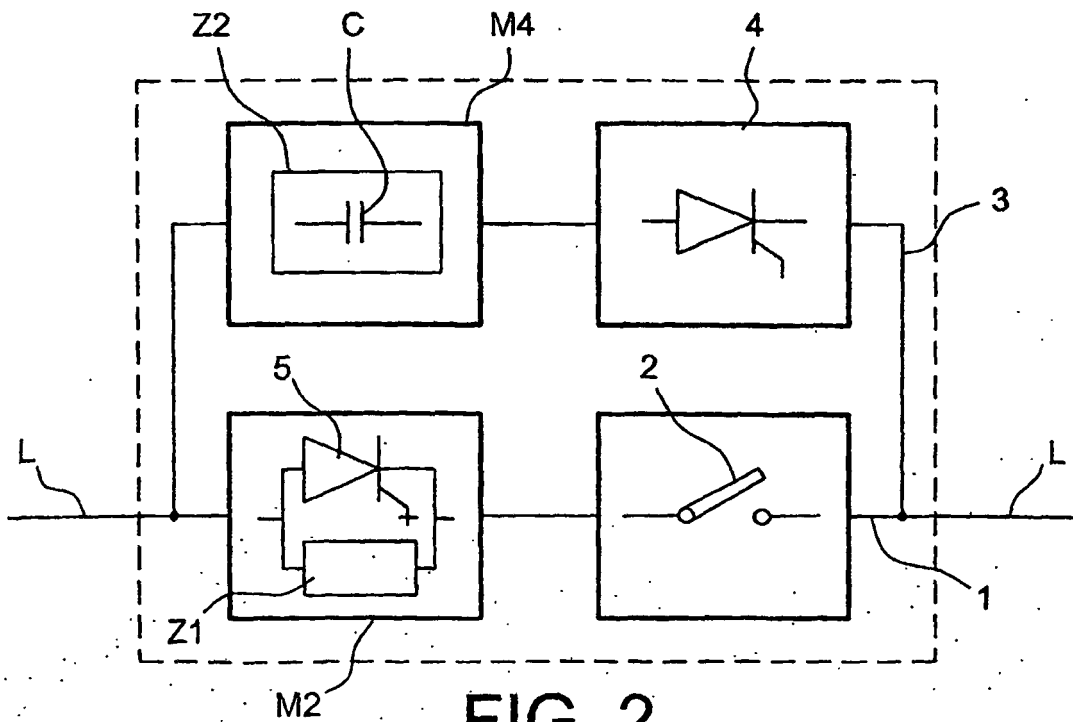


FIG. 2

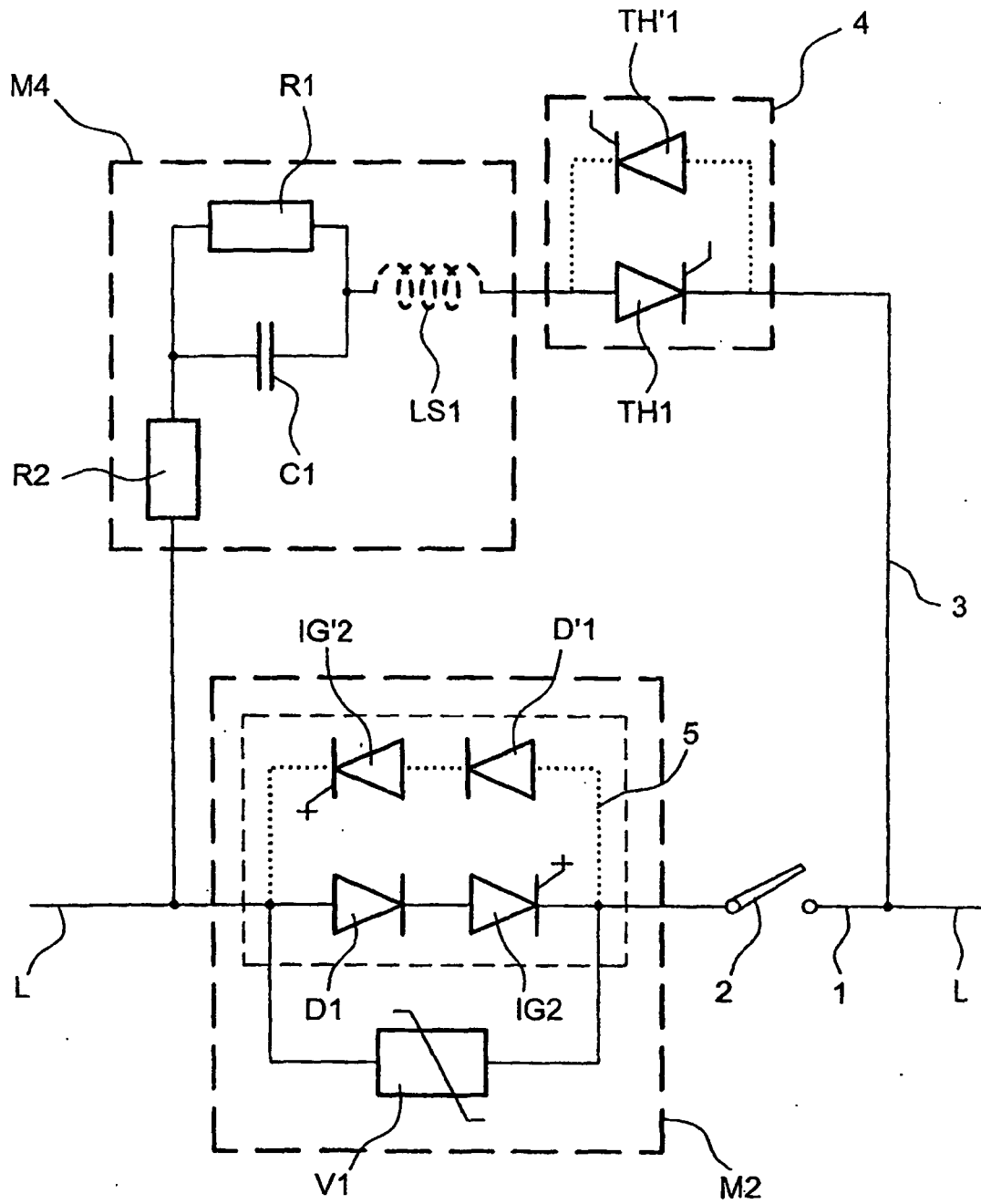


FIG. 3A

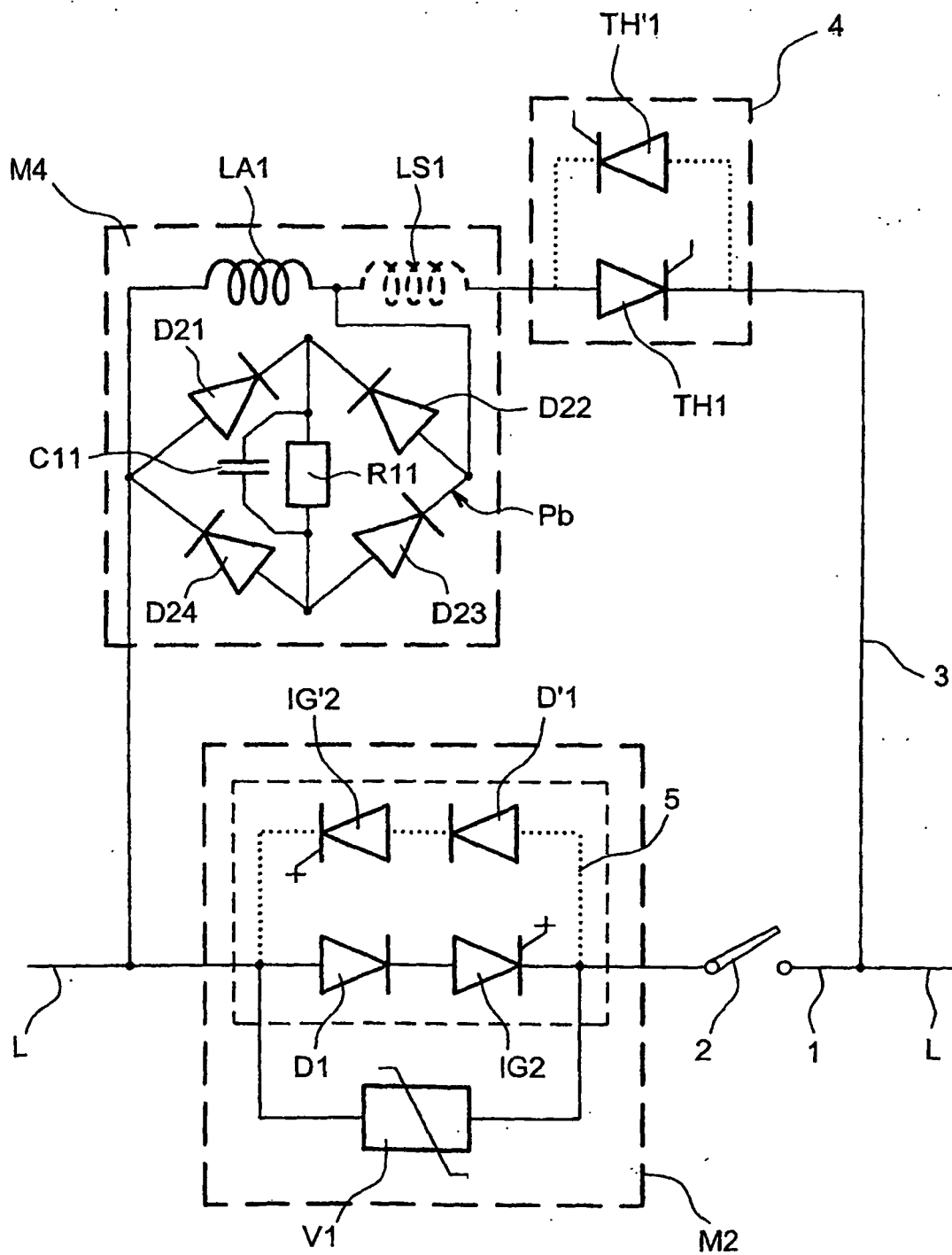


FIG. 3B

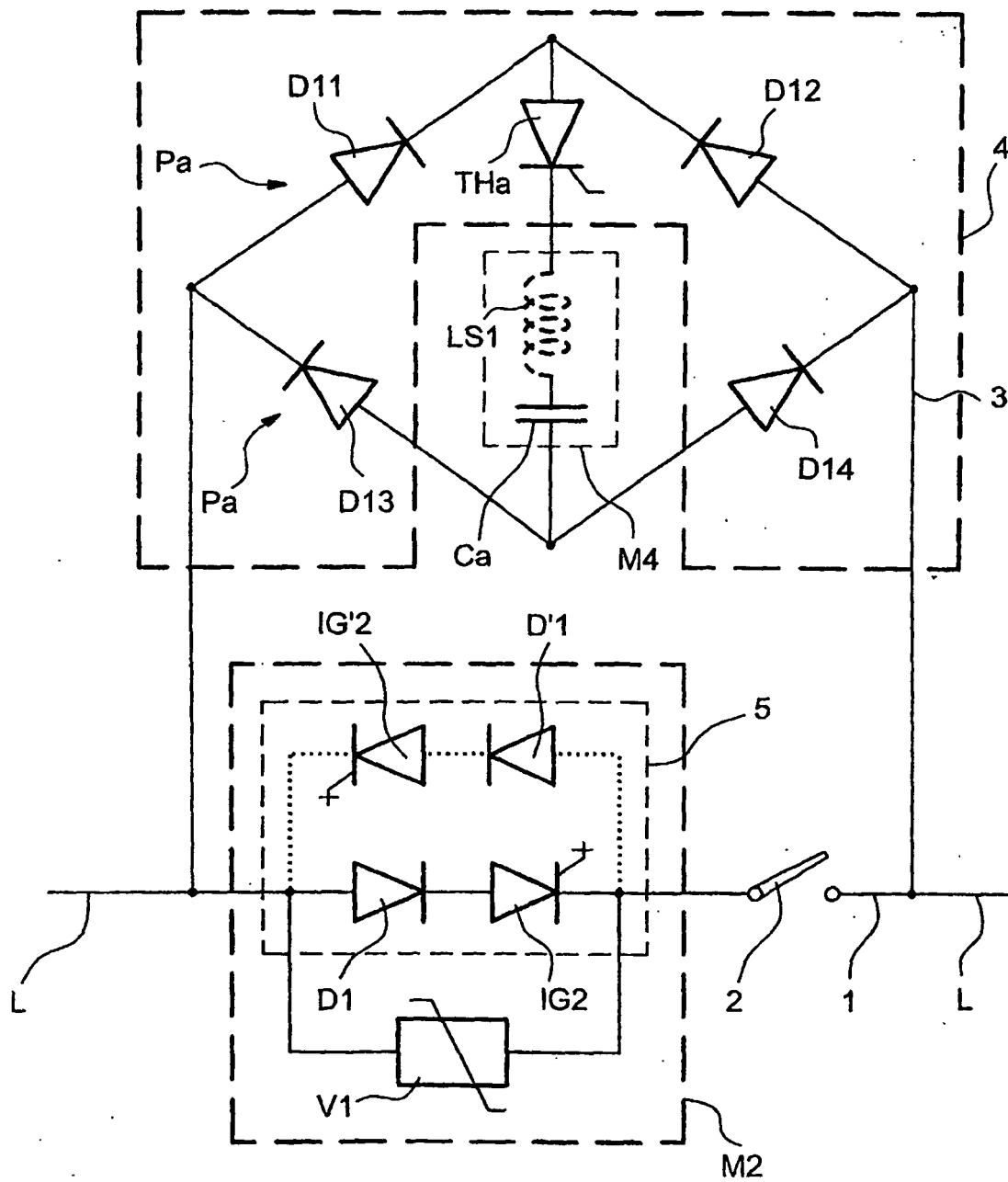


FIG. 4

FIG. 5A

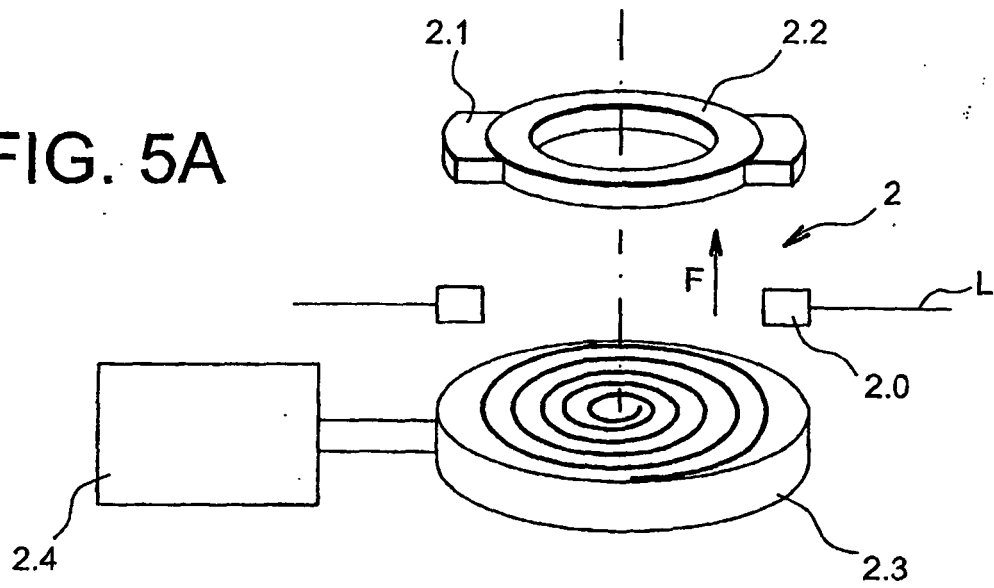
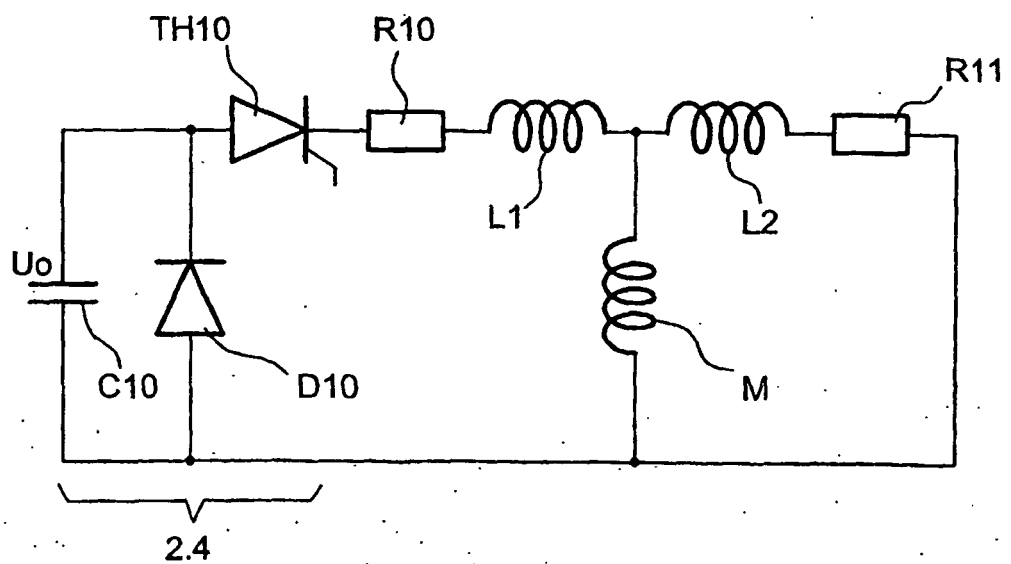


FIG. 5B



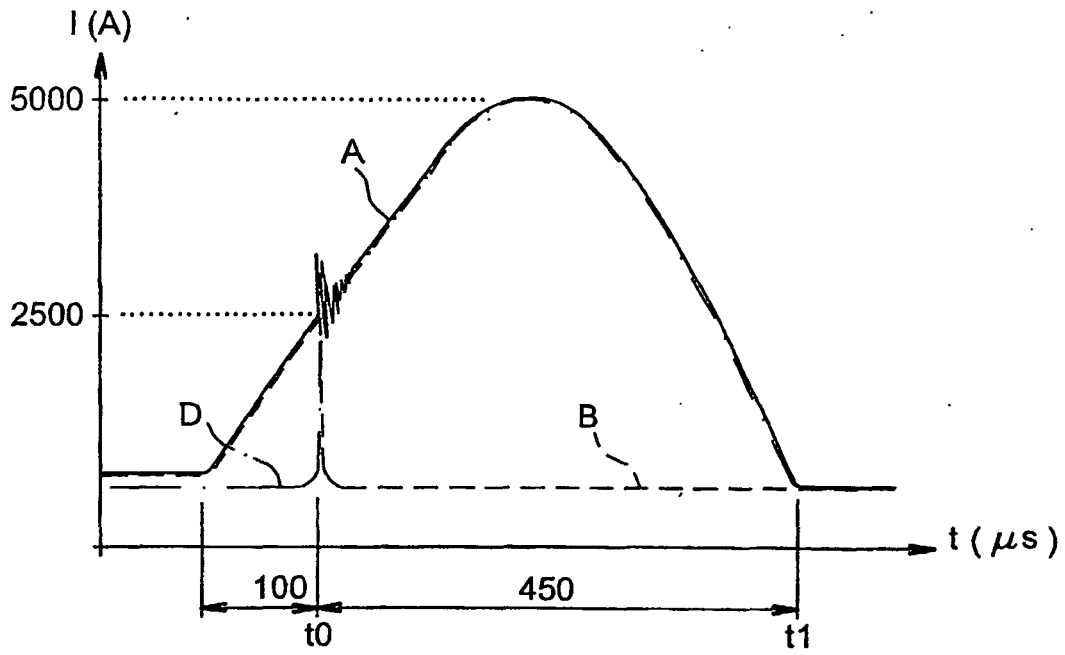


FIG. 6A

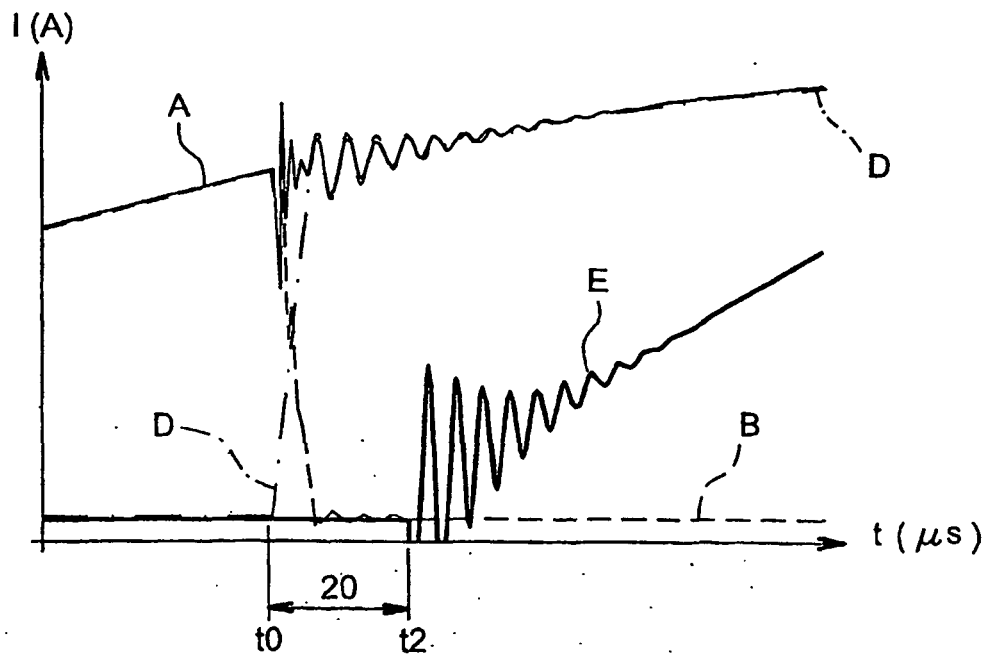


FIG. 6B