



(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN**
CANADIAN PATENT APPLICATION

(13) **A1**

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2022/05/19
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2022/11/24
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2023/11/13
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** EP 2022/063625
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2022/243464
(30) **Priorité/Priority:** 2021/05/20 (FRFR2105286)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** *H02H 3/02* (2006.01),
H02H 3/087 (2006.01), *H03K 17/687* (2006.01)
(71) **Demandeur/Applicant:**
SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS, FR
(72) **Inventeurs/Inventors:**
DOMEJEAN, ERIC, FR;
BRENGUIER, JEROME, FR
(74) **Agent:** SMART & BIGGAR LP

(54) **Titre : DISPOSITIF DE COMMUTATION ELECTRIQUE, SYSTEME DE COMMUTATION ET PROCEDE ASSOCIES**
(54) **Title: ELECTRICAL SWITCHING DEVICE, AND ASSOCIATED METHOD AND SWITCHING SYSTEM**

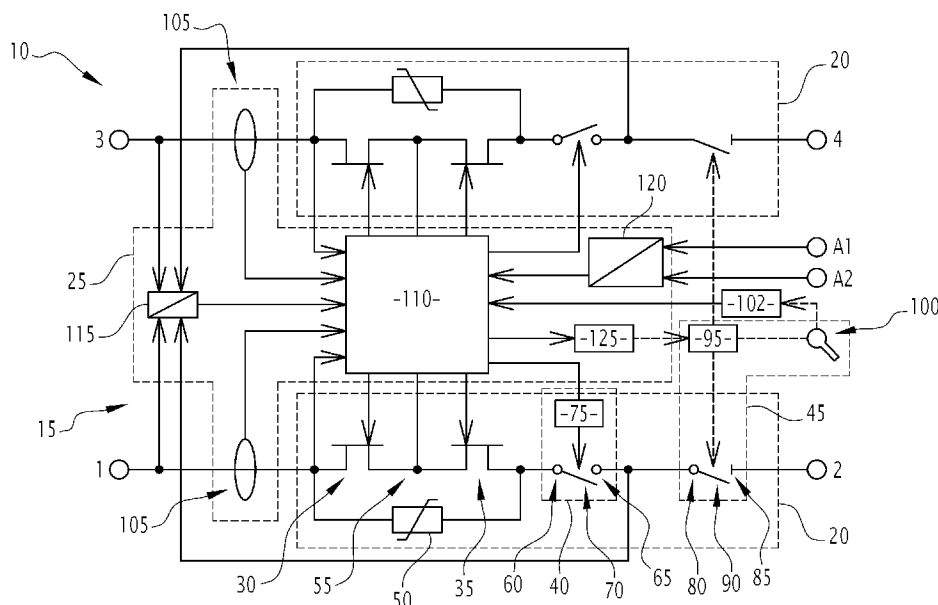


FIG.1

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un dispositif de commutation (15) un module de commutation (20) et un module de commande (25) configuré pour commander l'interruption d'un courant par le module de commutation (20) en cas de défaut. Le module de commutation (20) comporte un circuit conduisant le courant et comportant, en série, deux transistors JFET (30, 35) normalement passants tête-bêche et un organe de commutation (40) commutant entre deux configurations, l'organe de commutation (40) permettant le passage du courant dans une configuration et empêchant le passage du courant dans l'autre, dans laquelle il est par défaut, le module de commande (25) générant un premier signal pour maintenir l'organe de commutation (40) dans la première configuration, le module de commande (25) étant configuré pour, en cas de défaut, générer un deuxième signal pour commander l'interruption du courant par un transistor (30, 35), et configuré pour interrompre le premier signal en cas de défaut.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
24 novembre 2022 (24.11.2022)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2022/243464 A1

(51) Classification internationale des brevets :

H02H 3/02 (2006.01) H03K 17/687 (2006.01)
H02H 3/087 (2006.01)(71) Déposant : SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES
SAS [FR/FR] ; 35 rue Joseph Monier, 92500 RUEIL-MAL-
MAISON (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2022/063625

(72) Inventeurs : DOMEJEAN, Eric ; 106, rue du Coteau,
38340 VOREPPE (FR). BRENGUIER, Jérôme ; 502
Route de Riquetièrre, 38470 L'ALBENC (FR).

(22) Date de dépôt international :

19 mai 2022 (19.05.2022)

(74) Mandataire : GRAND, Guillaume et al. ; LAVOIX, 62,
rue de Bonnel, 69448 LYON CEDEX 03 (FR).

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

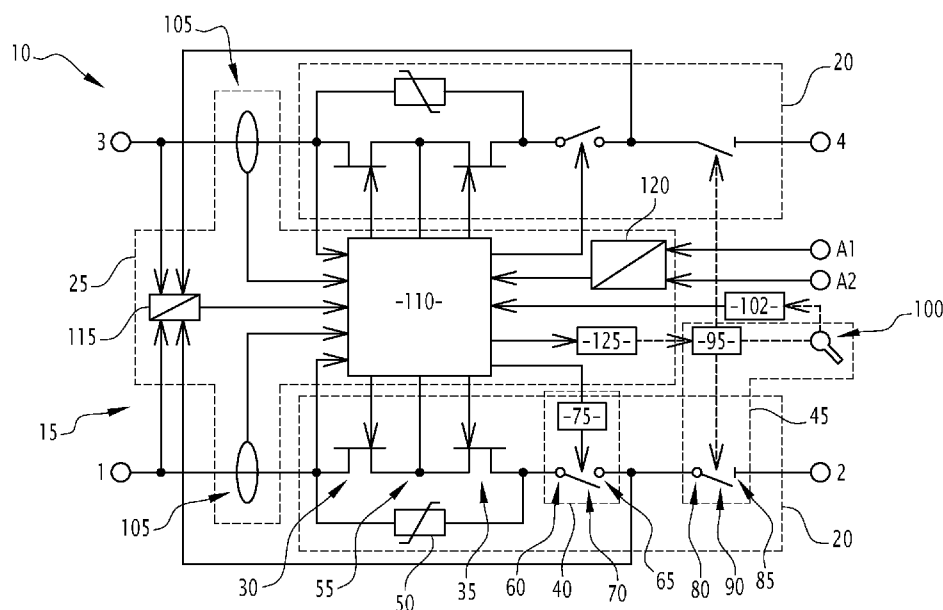
(30) Données relatives à la priorité :

FR2105286 20 mai 2021 (20.05.2021) FR

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) Title: ELECTRICAL SWITCHING DEVICE, AND ASSOCIATED METHOD AND SWITCHING SYSTEM

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMMUTATION ÉLECTRIQUE, SYSTÈME DE COMMUTATION ET PROCÉDÉ ASSOCIÉS

**FIG.1**

(57) **Abstract:** The invention relates to a switching device (15), a switching module (20) and a control module (25) configured to command the interruption of a current by way of the switching module (20) in the event of a fault. The switching module (20) comprises a circuit carrying the current and comprising, in series, two back-to-back depletion-mode JFETs (30, 35) and a switching component (40) that switches between two configurations, the switching component (40) allowing the current to flow in one configuration and preventing the current from flowing in the other configuration, which it is in by default, the control module (25) generating a first signal for keeping the switching component (40) in the first configuration, in the event of a fault, to generate a second signal for commanding the interruption of the current by way of a transistor (30, 35), and configured to interrupt

[Suite sur la page suivante]



WO 2022/243464 A1

WO 2022/243464 A1

ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
 NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
 SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
 TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

the first signal in the event of a fault.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif de commutation (15) un module de commutation (20) et un module de commande (25) configuré pour commander l'interruption d'un courant par le module de commutation (20) en cas de défaut. Le module de commutation (20) comporte un circuit conduisant le courant et comportant, en série, deux transistors JFET (30, 35) normalement passants tête-bêche et un organe de commutation (40) commutant entre deux configurations, l'organe de commutation (40) permettant le passage du courant dans une configuration et empêchant le passage du courant dans l'autre, dans laquelle il est par défaut, le module de commande (25) générant un premier signal pour maintenir l'organe de commutation (40) dans la première configuration, le module de commande (25) étant configuré pour, en cas de défaut, générer un deuxième signal pour commander l'interruption du courant par un transistor (30, 35), et configuré pour interrompre le premier signal en cas de défaut.

Dispositif de commutation électrique, système de commutation et procédé associés

La présente invention concerne un dispositif de commutation électrique. La présente invention concerne également un système de commutation et un procédé de commutation d'un courant associés.

Des dispositifs de commutation tels que des disjoncteurs sont fréquemment utilisés pour détecter des défauts électriques liés à un ou des courants électriques et pour interrompre le ou les courants en cas de détection d'un défaut. A cet effet, les disjoncteurs sont équipés de moyens de détection d'un défaut électrique, ces moyens actionnant un organe de commutation qui coupe le courant lorsque nécessaire.

L'organe de commutation est traditionnellement formé par un contact électriquement conducteur et mobile entre deux positions, l'une dans laquelle il relie électriquement deux bornes entre lesquelles il conduit le courant, et l'autre dans laquelle le contact est distant d'au moins l'une des bornes. De tels organes présentent en outre l'intérêt d'isoler galvaniquement leurs deux bornes l'une de l'autre lorsque le contact est dans la deuxième position, et ainsi d'offrir un niveau de protection très élevé, d'autant plus que leur mécanisme d'actionnement les maintient, par défaut, dans la deuxième position.

Cependant, les organes de commutation mobiles du type précité restent relativement lents, puisque la coupure requiert une à plusieurs millisecondes en général. En outre, un arc électrique apparaît en général entre le contact mobile et la ou les bornes dont il s'éloigne lors de la coupure. Un tel arc électrique requiert une configuration spécifique de l'organe de commutation pour être éteint en sécurité, via une chambre de coupure complexe et de grandes dimensions, et génère en outre une usure des éléments entre lesquels il se forme, ce qui limite la durée de vie du dispositif de commutation.

Il a donc été proposé d'utiliser, en lieu et place du contact mobile, un ou des transistors commandés électroniquement, qui permettent alors une coupure du courant plus rapide et sans apparition d'un arc électrique. Afin d'assurer une protection suffisante, les transistors utilisés sont nécessairement d'un type « non-passant par défaut », c'est-à-dire d'un type qui requiert une action positive (réception d'une commande sur la grille du transistor) pour laisser passer le courant, et qui bloque le passage du courant en l'absence d'une telle action. Par exemple, des transistors MOSFET ont été proposés pour un tel usage.

Cependant, les transistors non-passants par défaut présentent une résistance relativement importante au passage du courant, qui est notamment gênante, car causant des pertes importantes, lorsque l'intensité du courant est élevée. Il est donc nécessaire de

prévoir un grand nombre de transistors en parallèle pour limiter les pertes en divisant le courant, de manière à ce que l'intensité du courant traversant chaque transistor soit limitée. Une telle configuration est complexe et volumineuse.

Il existe donc un besoin pour un dispositif de commutation d'un courant électrique qui présente de petites dimensions et une résistance électrique faible tout en permettant une coupure plus rapide du courant et en présentant une meilleure durée de vie que les dispositifs de commutations de l'état de la technique.

A cet effet, il est proposé un dispositif de commutation électrique comportant une entrée, une sortie, un module de commutation et un module de commande, le module de commutation étant apte à conduire un courant électrique entre l'entrée et la sortie, le module de commande étant configuré pour détecter un défaut électrique et pour commander l'interruption du courant par le module de commutation en cas de détection d'un défaut.

Ce module de commutation comporte un circuit électrique configuré pour conduire le courant entre l'entrée et la sortie, le circuit comportant, en série, au moins deux premiers transistors JFET normalement passants tête-bêche et au moins un organe de commutation comportant une première borne et une deuxième borne, l'organe de étant configuré pour commuter entre une première configuration et une deuxième configuration, l'organe de commutation permettant le passage du courant entre la première borne et la deuxième borne lorsque l'organe de commutation est dans la première configuration, l'organe de commutation empêchant le passage du courant lorsque l'organe de commutation est dans la deuxième configuration, l'organe de commutation étant dans la deuxième configuration par défaut, le module de commande étant configuré pour générer au moins un premier signal électrique propre à maintenir l'organe de commutation dans la première configuration, le module de commande étant configuré pour, en cas de détection d'un défaut, générer au moins un deuxième signal électrique de coupure à destination d'un premier transistor, chaque deuxième signal étant apte à commander l'interruption du courant par le premier transistor correspondant, le module de commande étant configuré pour interrompre le premier signal en réponse à la détection.

Grâce à l'invention, le courant est coupé rapidement par les JFET en cas de détection d'un défaut électrique. En outre, l'organe de commutation, étant dans la deuxième configuration et donc non-passant par défaut, assure le maintien de cette protection même lorsque le module de commande n'est pas alimenté électriquement et donc ne peut pas maintenir les JFET dans leur état non-passant.

De plus, puisque les JFET coupent le courant très rapidement, l'organe de commutation n'a pas à être dimensionné de manière à permettre cette coupure, mais uniquement le maintien de l'isolation. En particulier, aucun arc électrique n'apparaît même

si l'organe de commutation est du type à contact mobile, ce qui limite son usure et évite donc qu'une chambre de coupure soit requise, tout en permettant l'utilisation du dispositif 15 dans une atmosphère explosive.

De manière générale, l'organe de commutation peut présenter une conductivité électrique élevée puisqu'il n'a pas à couper des courants élevés et donc à supporter une surtension élevée lors de la coupure, ce rôle étant joué par les JFET, qui présentent eux naturellement une conductivité très élevée. La résistance électrique du dispositif de commutation est donc faible.

Ainsi, le principal défaut des JFET – le fait qu'ils soient par défaut passants, ce qui est généralement considéré comme les disqualifiant pour une utilisation dans un dispositif de commutation électrique – est compensé par la présence de l'organe de commutation sans que leurs avantages (leur forte conductivité) ne soient compensés par la résistance électrique de l'organe de commutation puisque cette dernière reste limitée.

Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, le dispositif de commutation présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- l'organe de commutation comporte un premier actionneur et un premier contact électriquement conducteur, le premier contact étant mobile entre une première position et une deuxième position, le premier contact étant dans la première position lorsque l'organe de commutation est dans la première configuration et étant dans la deuxième position lorsque l'organe de commutation est dans la deuxième configuration, le premier contact conduisant le courant entre la première borne et la deuxième borne lorsque le premier contact est dans la première position, le premier contact étant distant d'au moins une des première et deuxième bornes lorsque le premier contact est dans la deuxième position, le premier actionneur étant configuré pour maintenir le premier contact dans la première position lorsque l'actionneur est alimenté avec le premier signal électrique.

- le dispositif de commutation comporte deux deuxième transistors MOSFET, de type non-passant par défaut, en série tête-bêche entre la première borne et la deuxième borne, chaque deuxième transistor conduisant le courant lorsque le deuxième transistor est alimenté par un premier signal respectif et empêchant le passage du courant en l'absence de premier signal.

- le circuit comporte, en outre, un sectionneur connecté en série avec les premiers transistors et avec l'organe de commutation, le sectionneur comportant une troisième borne, une quatrième borne, un deuxième contact, un deuxième actionneur et un organe de commande, le deuxième contact étant mobile entre une troisième position et une quatrième position, le deuxième contact conduisant le courant entre la troisième borne (80)

et la quatrième borne lorsque le deuxième contact est dans la troisième position, le deuxième contact étant distant d'au moins une des troisième et quatrième bornes lorsque le deuxième contact est dans la quatrième position, le deuxième actionneur étant configuré pour déplacer le deuxième contact entre la troisième position et la quatrième position lorsque l'organe de commande est actionné par un opérateur.

- l'organe de commande est une manette rotative.

- le dispositif comporte un organe de commande actionnable par un opérateur pour commander la coupure, par le module de commande, du premier signal.

- chaque premier transistor comporte une source, un drain et une grille, les sources de deux des premiers transistors étant interposées, le long du trajet du courant, entre les drains desdits deux premiers transistors.

- le nombre de premiers transistors est supérieur ou égal à quatre, les premiers transistors étant répartis en paires de groupes de premiers transistors, chaque groupe contenant au moins un premier transistor les premiers transistors de chaque groupe étant connectés successivement les uns aux autres en série dans le même sens si le groupe comporte plus d'un premier transistor, chaque premier transistor d'un groupe étant dans le sens différent du ou des premiers transistors de l'autre groupe de la même paire, chaque groupe d'une paire étant connecté en série à l'autre groupe de la paire, les paires étant connectées en série les unes aux autres.

- les premiers transistors sont réalisés en SiC ou en GaN.

- le dispositif comporte une unique entrée et une pluralité de sorties, chaque sortie étant reliée à un unique point, les premiers transistors étant interposés entre l'entrée et ledit unique point, le module de commutation comportant, pour chaque sortie, un organe de commutation respectif interposé entre la sortie et ledit unique point.

- le dispositif comporte un appareil de commutation et un appareil de commande, l'appareil de commutation comportant le module de commutation, l'appareil de commande comportant le module de commande, l'appareil de commutation et l'appareil de commande étant distants l'un de l'autre et étant configurés pour communiquer l'un avec l'autre.

Il est également proposé un système de commutation configuré pour transmettre une pluralité de courants entre des entrées et des sorties respectives, pour détecter un défaut électrique en fonction de mesures de paramètres d'au moins un courant, et pour interrompre au moins le courant correspondant en cas de détection d'un défaut électrique, comportant une pluralité de dispositifs de commutation tel que précédemment décrits.

Il est aussi proposé un procédé de commutation d'un courant, mis en œuvre par un dispositif de commutation électrique comportant une entrée, une sortie, un module de

commutation et un module de commande, le module de commutation étant apte à conduire un courant électrique entre l'entrée et la sortie,

le module de commutation comportant un circuit électrique configuré pour conduire le courant entre l'entrée et la sortie, le circuit comportant, en série, au moins deux premiers transistors JFET normalement passants tête-bêche et au moins un organe de commutation comportant une première borne et une deuxième borne, l'organe de commutation étant configuré pour commuter entre une première configuration et une deuxième configuration, l'organe de commutation permettant le passage du courant entre la première borne et la deuxième borne lorsque l'organe de commutation est dans la première configuration, l'organe de commutation empêchant le passage du courant lorsque l'organe de commutation est dans la deuxième configuration, l'organe de commutation étant dans la deuxième configuration par défaut,

le procédé comportant des étapes de :

- génération, par le module de commande, d'au moins un premier signal électrique propre à maintenir l'organe de commutation dans la première configuration,
- détection d'un défaut électrique par le module de commande,
- suite à la détection d'un défaut, interruption du premier signal par le module de commande et génération par le module de commande d'un deuxième signal électrique de coupure à destination de chaque premier transistor,
- suite à la réception du deuxième signal correspondant, interruption du courant par au moins un premier transistor, et
- commutation de l'organe de commutation dans la deuxième configuration.

Des caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

[Fig 1] la figure 1 est une représentation schématique d'un exemple d'un système de commutation selon l'invention comportant un premier exemple de dispositif de commutation selon l'invention,

[Fig 2] la figure 2 est un ordinogramme d'un procédé de commutation mis en œuvre par le dispositif de commutation de la figure 1,

[Fig 3] la figure 3 est une représentation schématique d'un deuxième exemple de dispositif de commutation selon l'invention, et

[Fig.4] la figure 4 est une représentation schématique d'un deuxième exemple d'un système de commutation selon l'invention.

Un exemple d'un système de commutation 10 selon l'invention est représenté sur la figure 1. Un deuxième exemple de système de commutation 10 sera représenté et décrit ultérieurement.

Le système de commutation 10 présente au moins une entrée 1, 3 et au moins une sortie 2, 4. En particulier, le nombre d'entrées 1, 3 est égal au nombre de sorties 2, 4. Dans l'exemple représenté sur la figure 1, le nombre d'entrées et de sorties est égal à deux, toutefois ce nombre est susceptible de varier.

Le système de commutation 10 est configuré pour recevoir un courant sur chacune de ses entrées 1, 3, et pour transmettre chaque courant à une sortie 2, 4 respective.

Optionnellement, le système de commutation 10 comporte également une entrée de neutre EN et une ou des sortie(s) de neutre SN, le système de commutation 10 étant configuré pour conduire un courant entre l'entrée de neutre EN et la ou les sortie(s) de neutre SN et, de manière connue en soi, pour couper ce courant à l'aide d'un sectionneur de neutre S.

Le système de commutation 10 est, en outre, configuré pour détecter un défaut électrique relatif à au moins un des courants et pour interrompre ledit courant, ou une pluralité des courants, notamment tous les courants, en cas de détection du défaut.

Le système de commutation 10 comporte au moins un dispositif de commutation 15, et en particulier un dispositif de commutation 15 pour chaque paire formée par une entrée 1, 3 et une sortie 2, 4.

Sur la figure 1, le système de commutation 10 est un système bipolaire, i.e un système 10 à deux pôles, ou à deux phases électriques, sans neutre.

Un homme du métier pourra adapter aisément un tel système de commutation, par exemple, à des installations mono-, bi-, tri- ou quadri-polaires, avec ou sans neutre.

Chaque pôle de l'installation sera associé à une entrée 1, 3 et une sortie 2, 4 respective, avec notamment un dispositif de commutation 15 correspondant, le neutre étant associé à l'entrée EN et la sortie SN correspondantes du système 10.

Les différents dispositifs de commutation 15 correspondant aux différents pôles du système 10 sont, par exemple, identiques les uns aux autres.

Chaque dispositif de commutation 15 comporte l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4 correspondante et est configuré pour conduire de l'entrée 1, 3 à la sortie 2, 4 un courant électrique reçu sur l'entrée 1, 3.

Le courant est, par exemple, un courant continu, mais est, en variante, susceptible d'être un courant alternatif. Le courant est associé à une tension électrique entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4.

Chaque dispositif de commutation 15 est, en outre, configuré pour détecter un défaut électrique relatif au courant qu'il conduit et pour interrompre ledit courant en cas de détection du défaut.

Chaque défaut est, par exemple, une intensité excessive du courant, un court-circuit, une surtension, une température excessive d'un composant interne, une panne interne après un auto test du disjoncteur, une sous-tension, une forme anormale de la tension (non sinusoïdale par exemple sur un réseau AC), ou encore un arc électrique.

Chaque dispositif de commutation 15 comporte, outre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4 correspondante, un module 20 de commutation et un module 25 de commande.

Il est à noter que certains éléments des dispositifs de commutation 15, notamment le module de commande 25, sont susceptibles suivant les cas d'être propre à un unique dispositif de commutation 15 ou commun à plusieurs dispositifs de commutation 15.

Chaque entrée 1, 3 ou sortie 2, 4 est configurée pour être connectée à un conducteur électrique d'arrivée ou de départ du courant, par exemple à un fil ou câble conducteur, ou encore à une borne d'entrée ou de sortie d'un autre dispositif électrique.

Le module de commutation 20 comporte un circuit électrique reliant l'entrée 1, 3 à la sortie 2, 4 et configuré pour conduire le courant entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4.

Le circuit électrique comporte, connectés en série, au moins deux premiers transistors 30 et 35 et un organe de commutation 40. Optionnellement, le circuit comporte, en outre, un sectionneur 45.

Optionnellement, le module de commutation 20 comporte, en outre, un écrêteur 50.

Chaque premier transistor 30, 35 est un transistor JFET.

L'acronyme JFET, de l'Anglais « Junction Field-Effect Transistor » désigne un transistor à effet de champ dont la grille est directement en contact avec le canal semi-conducteur reliant la source et le drain, le canal étant interposé entre deux portions semi-conductrices présentant un type de dopage différent de celui du canal, de sorte que la modification du potentiel de la grille (connectée à l'une de ces deux portions) tend à augmenter la taille de la zone de déplétion qui apparaît à la jonction entre le canal et lesdites portions. Ainsi, si la tension est suffisante, le canal est entièrement déplété et rendu électriquement isolant.

Chaque premier transistor 30, 35 est, notamment, un JFET à canal de type n.

Chaque premier transistor 30, 35 est passant par défaut (ou « normalement passant »). En d'autres termes, chaque premier transistor 30, 35 est tel que, en l'absence d'action sur la grille du premier transistor 30, 35, le premier transistor 30, 35 permet la circulation d'un courant entre la source et le drain.

Les premiers transistors 30, 35 sont disposés tête-bêche dans le circuit électrique, c'est-à-dire que le courant circule depuis la source vers le drain dans l'un des premiers transistors 30, 35 et depuis le drain vers la source dans l'autre premier transistor 30, 35.

Ainsi, l'expression « tête-bêche » désigne des premiers transistors 30, 35 connectés en sens opposés.

Notamment, chaque premier transistor 30 est connecté dans un sens opposé au sens de chaque premier transistor 35.

Selon un mode de réalisation, les sources des deux premiers transistors 30, 35 sont interposées entre les drains des deux premiers transistors 30, 35 le long du trajet du courant.

Dans l'exemple de dispositif de commutation 15 de la figure 1, les sources des deux premiers transistors 30, 35 sont connectées l'une à l'autre en un point 55.

Optionnellement, le nombre de premiers transistors 30, 35 est différent de deux, par exemple égal à quatre, six ou tout nombre pair.

Dans ce cas, les premiers transistors 30, 35 sont répartis en deux groupes de premiers transistors 30, 35, les transistors 30, 35 qui appartiennent à un même groupe étant disposés dans le même sens et, connectés successivement en série les uns aux autres.

En variante, deux paires de groupes ou plus sont présentes, chaque paire comportant un groupe de premiers transistors 30 connectés en série les uns aux autres et un groupe de premiers transistors 35 connectés en série les uns aux autres, les deux groupes de la paire étant connectés en série l'un à l'autre.

Les différentes paires de groupes sont connectées en parallèles les unes des autres.

Selon une variante, chaque paire comporte un unique premier transistor 30 et un unique premier transistor 35 connectés en série, les paires étant connectées en parallèle les unes des autres.

Selon une autre variante, le circuit électrique comporte une pluralité de groupes de premiers transistors 30, 35, les groupes étant connectés en série les uns aux autres.

Chaque groupe comporte alors au moins deux premiers transistor 30 ou au moins deux premiers transistors 35, les premiers transistors 30, 35 d'un même groupe étant connectés en parallèle les uns aux autres. En particulier, chaque groupe ne contient que des premiers transistors 30, 35 orientés dans un même sens, et il existe au moins un groupe de premiers transistors 30 orientés dans un sens et au moins un groupe de premiers transistors 35 orientés dans l'autre sens. Ainsi, quel que soit le sens du courant, au moins l'un des groupes de premiers transistors 30, 35 empêche le passage du courant.

Par exemple, les premiers transistors 30 d'un groupe sont tous connectés à une extrémité à un même point que les premiers transistors 35 d'un premier groupe voisin et optionnellement à une autre extrémité à un même point que les premiers transistors 30 ou 35 d'un deuxième groupe voisin.

Chaque premier transistor 30, 35 est, par exemple, réalisé en carbure de silicium SiC. En variante, au moins un premier transistor 30, 35, notamment chaque premier transistor 30, 35 est réalisé en un autre matériau semi-conducteur, par exemple en nitrure de gallium GaN ou encore en silicium. Le matériau utilisé dépend notamment des tensions et des intensités des courants que le dispositif de commutation 15 est prévu pour supporter.

L'organe de commutation 40 comporte une première borne 60 et une deuxième borne 65. La première borne 60 est, par exemple, connectée à l'un des premiers transistors 30, 35.

L'organe de commutation 40 est configuré pour commuter entre une première configuration et une deuxième configuration.

Lorsque l'organe de commutation 40 est dans la première configuration, l'organe de commutation permet le passage du courant entre la première borne 60 et la deuxième borne 65.

Lorsque l'organe de commutation 40 est dans la deuxième configuration, l'organe de commutation isole électriquement la première borne de la deuxième borne 65.

L'organe de commutation 40 est configuré pour commuter entre la première et la deuxième configuration sur réception d'un premier signal de commande du module de commande 25.

L'organe de commutation 40 configuré pour être, par défaut, dans la deuxième configuration. En d'autres termes, en l'absence de premier signal de commande transmis par le module de commande 25, l'organe de commutation 40 est dans la deuxième configuration.

Selon le mode de réalisation représenté sur la figure 1, l'organe de commutation 40 est un relais comportant un premier contact 70 et un premier actionneur 75.

L'organe de commutation 40 n'est, notamment, pas dimensionné pour interrompre à lui seul le courant circulant entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4. En particulier, l'organe de commutation 40 n'est pas configuré pour éteindre un éventuel arc électrique apparaissant entre le premier contact 70 et l'une ou l'autre des bornes 60, 65. L'organe de commutation 40 est, par exemple, dépourvu de chambre de coupure.

Toutefois, l'organe de commutation 40 est, par exemple, configuré pour empêcher un courant de circuler entre les bornes 60, 65 si la tension entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4 est appliquée entre les bornes 60 et 65.

Il est à noter que, selon des variantes envisageables, l'organe de commutation 40 est dimensionné pour éteindre à lui seul le courant si besoin, par exemple en éteignant un éventuel arc électrique qui en résulterait.

Le premier contact 70 est électriquement conducteur et est mobile entre une première position et une deuxième position, représentée sur la figure 1.

Lorsque l'organe de commutation 40 est dans la première configuration, le premier contact 70 est dans la première position. Lorsque l'organe de commutation 40 est dans la deuxième configuration, le premier contact 70 est dans la deuxième position.

Lorsque le premier contact 70 est dans la première position, le premier contact 70 connecte électriquement les deux bornes 60 et 65, par exemple en étant en appui contre les deux bornes 60 et 65.

Lorsque le premier contact 70 est dans la deuxième position, le premier contact 70 est distant d'au moins une des bornes 60 et 65. Ainsi, le premier contact 70 ne permet pas le passage du courant entre les bornes 60 et 65.

De nombreux types de mécanismes, notamment rotatifs, sont susceptibles d'être utilisés pour assurer la mobilité et le guidage du premier contact 70.

Selon des modes de réalisation envisageables, le relais 40 est un relais MEMS (de l'Anglais « Micro Electro-Mechanical System », signifiant « microsystème électromécanique »). Un relais MEMS est un relais dont au moins une partie de dimensions microscopiques est fabriquée à partir de matériaux semi-conducteurs. Par exemple, une poutre de dimensions microscopiques se déformant sous l'effet d'un champ électrique joue le rôle de premier contact 70. De tels relais, de très petite taille, ne permettent pas de couper sans arc électrique des courants élevés, mais commutent très rapidement, leurs temps de commutation étant typiquement de l'ordre de 10 microsecondes.

En variante, le relais 40 est un relais de dimensions macroscopiques d'un type connu.

Le premier actionneur 75 est configuré pour déplacer le premier contact 70 entre la première position et la deuxième position suite à la réception d'un premier signal de commande, notamment d'un premier signal de commande électrique, du module de commande 25.

En particulier, le premier actionneur 75 est configuré pour maintenir le premier contact 70 dans la deuxième position en l'absence de premier signal de commande, et pour déplacer le premier contact 70 dans la première position et l'y maintenir lorsque le premier actionneur 75 est alimenté avec le premier signal de commande.

Par exemple, le premier actionneur 75 est d'un type connu comportant un ressort et un électro-aimant, le ressort tendant à déplacer le premier contact 70 vers sa deuxième

position et l'électro-aimant étant configuré, lorsqu'il est alimenté par le premier signal de commande, pour exercer, directement ou indirectement, sur le premier contact 70 une force tendant à déplacer le premier contact 70 vers sa première position. Toutefois, de nombreux types de premiers actionneurs 75 sont susceptibles d'être envisagés. Par exemple, si le relais 40 est un relais MEMS, l'actionneur 75 est un actionneur électrostatique.

Le sectionneur 45 est interposé entre l'organe de commutation 40 et la sortie 2, 4. Le sectionneur 45 comporte une troisième borne 80 reliée à l'organe de commutation 40, une quatrième borne 85 reliée à la sortie, un deuxième contact 90, un deuxième actionneur 95 et un organe de commande 100.

Le deuxième contact 90 est électriquement conducteur et est mobile entre une troisième position et une quatrième position, représentée sur la figure 1.

Lorsque le deuxième contact 90 est dans la troisième position (ou « position ON »), le deuxième contact 90 connecte électriquement les deux bornes 80 et 85, par exemple en étant en appui contre les deux bornes 80 et 85.

Lorsque le deuxième contact 90 est dans la quatrième position (ou « position OFF »), le deuxième contact 90 est distant d'au moins une des bornes 80 et 85. Ainsi, le deuxième contact 90 ne permet pas le passage du courant entre les bornes 80 et 85.

De nombreux types de mécanismes, notamment rotatifs, sont susceptibles d'être utilisés pour assurer la mobilité et le guidage du deuxième contact 90.

Le sectionneur 45 est, notamment, configuré pour maintenir une isolation entre les bornes 80 et 85, même si la tension entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4 est appliquée entre les bornes 80 et 85. Par exemple, la distance entre le deuxième contact 90 et au moins une des bornes 80, 85, lorsque le deuxième contact 90 est dans la quatrième position, est telle qu'un arc électrique ne se produit pas entre les bornes 80 et 85 lorsque la tension est appliquée entre ces bornes. Cette distance est, notamment, supérieure ou égale à 3 millimètres (mm), mais est susceptible de varier d'un mode de réalisation à un autre, notamment en fonction de la tension imposée entre les différents éléments de l'installation.

Le deuxième actionneur 95 est configuré pour déplacer le deuxième contact 90 entre la troisième position et la quatrième position suite à la réception d'un deuxième signal de commande, notamment d'un deuxième signal de commande électrique, du module de commande 25.

En particulier, le deuxième actionneur 95 est configuré pour maintenir le deuxième contact 90 dans la quatrième position (« OFF ») en l'absence de deuxième signal de commande, et pour déplacer le deuxième contact 90 dans la troisième position (« ON ») et l'y maintenir lorsque le deuxième actionneur 95 est alimenté avec le deuxième signal de commande.

Par exemple, le deuxième actionneur 95 est d'un type connu comportant un ressort et un électro-aimant, le ressort tendant à déplacer le deuxième contact 90 vers sa quatrième position et l'électro-aimant étant configuré, lorsqu'il est alimenté par le deuxième signal de commande, pour exercer, directement ou indirectement, sur le deuxième contact 90 une force tendant à déplacer le deuxième contact 90 vers sa troisième position. Toutefois, de nombreux types de deuxièmes actionneur 95 sont susceptibles d'être envisagés.

Optionnellement, le deuxième actionneur 95 est également configuré pour ouvrir le sectionneur de neutre S en même temps que le sectionneur 45.

L'organe de commande 100 est configuré pour être actionné par un opérateur de manière à agir sur le deuxième actionneur 95 pour que le deuxième actionneur 95 déplace le deuxième contact 90 entre ses troisième et quatrième positions.

De manière connue en soi, l'organe de commande 100 est, par exemple, une manette rotative, ou encore un bouton, déplaçable par l'opérateur entre deux positions pour commander le déplacement du deuxième contact 90.

Optionnellement, l'organe de commande 100 est, en outre, configuré pour, lorsqu'il est déplacé par un opérateur de manière à déplacer le deuxième contact 90 vers sa quatrième position, agir sur le module de commande 25 pour que le module de commande 25 commande l'interruption du courant par les premiers transistors 30, 35 et par l'organe de commutation 40.

En variante, l'organe de commande 100 est configuré pour commander le déplacement du deuxième contact 90 par l'intermédiaire du module de commande 25, par exemple en envoyant un signal au module de commande 25 qui commande en réponse le deuxième actionneur 95. Le contrôleur 110 est, par exemple, prévu pour recevoir d'un capteur 102 des informations sur la position de l'organe de commande 100.

Selon des modes de réalisation optionnels, l'organe de commande 100 comporte un mécanisme de verrouillage propre à maintenir l'organe de commande 100 dans la position dans laquelle l'organe de commande 100 maintient le deuxième contact 90 dans la quatrième position. Un tel mécanisme permet alors la consignation de l'installation qui est en aval du dispositif 10.

Le capteur 102 est configuré pour détecter une position de l'organe de commande 100, notamment pour détecter que l'organe de commande 100 atteint, au cours de son mouvement, une position précédant la position dans laquelle l'organe de commande 100 entraîne l'ouverture du sectionneur 45. Le capteur 102 est, par exemple, un capteur optique prévu pour détecter le passage devant le capteur optique d'une partie de l'organe de commande 100 lorsque l'organe de commande 100 atteint la position précédant la position dans laquelle l'organe de commande 100 entraîne l'ouverture du sectionneur 45.

Le module de commande 25 est configuré pour détecter le défaut électrique et pour commander en réponse l'interruption du courant par au moins les premiers transistors 30, 35 et l'organe de commutation 40.

Le module de commande 25 comporte au moins un organe de surveillance 105, un contrôleur 110, une alimentation principale 115 et, optionnellement, une alimentation auxiliaire 120.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, un unique contrôleur 110, une unique alimentation principale 115 et une unique alimentation auxiliaire 120 sont communs aux différents dispositifs de commutation 15, toutefois en variante ces éléments des différents dispositifs de commutation 15 sont susceptibles d'être distincts les uns des autres. Selon une autre variante, plusieurs alimentations 115 et/ou plusieurs alimentations 120 sont susceptibles d'être présentes, pour alimenter de manière redondantes le contrôleur 110 et ainsi éviter que la défaillance de l'une d'entre elles suffise à mettre hors service le système 10.

Chaque organe de surveillance 105 est configuré pour surveiller le courant circulant dans le dispositif de commutation 15.

Par exemple, chaque organe de surveillance 105 est configuré pour mesurer des valeurs de l'intensité du courant et pour transmettre ces valeurs au contrôleur 110, par exemple sous la forme d'un signal électrique dont une tension ou une intensité est fonction de l'intensité du courant. Dans ce cas, l'organe de surveillance 105 est, par exemple, un tore, notamment un tore de Rogowsky. Toutefois, d'autres types de capteurs d'intensité sont susceptibles d'être utilisés, par exemple des capteurs à effet Hall, ou encore des capteurs shunt, entre autres.

Le contrôleur 110 est configuré pour détecter l'occurrence d'un défaut électrique du courant, par exemple à partir des valeurs mesurées. Les critères de détection des différents défauts sont connus en soi, et parfois établis par des normes, et ne sont pas décrits ici.

Le contrôleur 110 est, en outre, configuré pour commander une commutation de chaque premier transistor 30, 35. Par exemple, le contrôleur 110 est configuré pour générer, en réponse à la détection d'un défaut, un troisième signal électrique à destination de chaque premier transistor 30, 35, le ou chaque troisième signal étant propre à entraîner l'interruption du courant par le ou les premiers transistors 30, 35.

Chaque troisième signal est, par exemple, une tension électrique entre la source et la grille du premier transistor 30, 35, la tension étant telle que le canal conducteur dudit premier transistor 30, 35 est pincé et donc interrompu par les deux zones de déplétion entre lesquelles le canal est interposé.

Selon un mode de réalisation, le contrôleur 110 est électriquement connecté à chacune des grilles des premiers transistors 30, 35 et au point 55, de manière à imposer une tension électrique entre les grilles et le point 55, dont le potentiel est égal au potentiel des sources des premiers transistors 30, 35.

Optionnellement, si deux groupes de transistors 30, 35 sont présents, chaque troisième signal est transmis simultanément au moins aux transistors 30, 35 qui sont dans le même sens, par exemple à tous les transistors 30, 35.

Le contrôleur 110 est configuré pour générer le premier signal de commande et pour le transmettre à l'organe de commutation 40 de manière à maintenir cet organe de commutation 40 dans la première position.

Le contrôleur 110 est, en outre, configuré pour commander la commutation de l'organe de commutation 40 de la première configuration à la deuxième configuration en réponse à la détection d'un défaut, par exemple en interrompant le premier signal.

Le contrôleur 110 est, de plus, optionnellement configuré pour commander la commutation du sectionneur 45 vers sa quatrième position en cas de détection d'un défaut, par exemple en émettant ou en interrompant le deuxième signal électrique.

Selon un mode de réalisation, le contrôleur 110 commande la commutation du sectionneur 45 vers sa quatrième position en alimentant électriquement avec le deuxième signal un enroulement conducteur 125, de manière à exercer sur le deuxième actionneur 95 une force provoquant l'ouverture du sectionneur 45 par le deuxième actionneur 95.

Il est à noter de que nombreux moyens différents sont susceptibles d'être utilisés pour permettre au contrôleur 110 d'agir sur le sectionneur 45 de manière à en provoquer la commutation.

Le contrôleur 110 est, par exemple, formé par un processeur et une mémoire stockant un ensemble d'instructions logicielles, les instructions logicielles entraînant la mise en œuvre d'un exemple de procédé de commutation, décrit ci-après, lorsqu'elles sont mises en œuvre sur le processeur.

En variante, le contrôleur 110 est formé par un ensemble de composants logiques programmables, par un ou des circuits dédiés, notamment un ou des circuits intégrés, ou par tout ensemble de composants électriques ou électroniques.

L'alimentation principale 115 est configurée pour alimenter électriquement le contrôleur 110 et, optionnellement, le ou les organes de surveillance 105, avec un ou des courants d'alimentation générés à partir du ou des courants électriques traversant le ou les dispositifs de commutation 15.

L'alimentation auxiliaire 120 est configurée pour alimenter électriquement le contrôleur 110 et, optionnellement, le ou les organes de surveillance 105, avec un ou des

courants d'alimentation générés par exemple à partir d'une réserve d'énergie électrique A1 telle qu'une batterie ou un condensateur, ou reçus d'une source A2 extérieure au système 10, par exemple d'un réseau de distribution d'électricité.

L'écrêteur 50 est connecté en parallèle aux deux premiers transistors 30, 35 et est configuré pour empêcher qu'une tension électrique entre les bornes extrêmes, par exemple entre les drains, des deux premiers transistors 30, 35 ne dépasse un seuil de tension prédéterminé. Des écrêteurs 50 de types multiples sont connus de l'homme du métier, utilisant par exemple une varistance ou encore une ou des diode(s) Zener. De tels circuits sont parfois nommés « TVS », de l'Anglais « Transient-Voltage Suppressor », qui signifie « écrêteur de signaux transitoires ».

Un ordinogramme du procédé de commutation est représenté sur la figure 2.

Le procédé comporte une étape 200 initiale, une étape 210 de détection d'un défaut, une étape 220 de commande, une première étape 230 d'interruption, une deuxième étape 240 d'interruption, une étape 250 de commutation et une étape 260 d'actionnement.

Au cours de l'étape initiale 200, l'organe de commutation 40 est dans sa première configuration et le contact mobile 90 du sectionneur 45 dans sa troisième position. En outre, le contrôleur 110 ne génère pas le troisième signal, et les premiers transistors 30, 35 sont donc passants.

Ainsi, un courant électrique circule entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4, permettant la génération d'un courant d'alimentation électrique par l'alimentation principale 115. Le contrôleur 110 utilise le courant d'alimentation pour générer le premier signal électrique qui maintient l'organe de commutation 40 dans sa première configuration.

Lors de l'étape de détection 210, le contrôleur 110 détecte l'occurrence d'un défaut, par exemple à partir de valeurs d'intensité du courant mesurées par l'organe de surveillance 105.

En réponse à la détection du défaut, le contrôleur 110 génère, pour chaque premier transistor 30, 35, le troisième signal de commande correspondant, et transmet chaque troisième signal de commande au premier transistor 30, 35 auquel il est destiné, au cours de l'étape de commande 220. Par exemple, le contrôleur 110 impose une tension prédéfinie entre la grille et la source de chaque premier transistor 30, 35, et maintient cette tension tant que l'alimentation électrique du contrôleur 110 le permet.

Lors de la première étape d'interruption 230, le contrôleur 110 interrompt le premier signal de commande. Optionnellement, lors de cette étape, le contrôleur 110 émet en outre le deuxième signal de commande à destination du deuxième actionneur 95 ou, le cas échéant, de l'enroulement 125.

Optionnellement, le premier signal de commande est interrompu après l'expiration d'une durée de temporisation prédéterminée, cette durée de temporisation étant mesurée depuis l'émission de chaque troisième signal de commande.

La durée de temporisation est, par exemple comprise entre 5 nanosecondes et 10 millisecondes, mais est susceptible de varier d'un mode de mise en œuvre à un autre.

En variante, le premier signal de commande est interrompu par le contrôleur 110 après que le contrôleur 110 a mesuré que l'intensité du courant circulant entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4 est inférieure ou égale à un seuil en valeur absolue, notamment égale à zéro.

L'émission du deuxième signal de commande, prévu pour commander l'ouverture du sectionneur 45, est par exemple simultanée avec l'interruption du premier signal de commande.

Optionnellement, si un sectionneur de neutre S est présent, une commande de coupure du sectionneur de neutre S est émise au cours de l'étape 230.

Lors de la deuxième étape d'interruption 240, le courant est interrompu par au moins un des premiers transistors 30, 35.

En effet, puisque les deux premiers transistors 30, 35 sont connectés tête-bêche dans le circuit électrique, au moins un des premiers transistors 30, 35 est effectivement non-passant sous l'effet du troisième signal de commande correspondant quel que soit le sens du courant, y compris si le courant est un courant alternatif.

En particulier, le courant circule à travers le dispositif de commutation 15 au début de la deuxième étape d'interruption 240, et est interrompu par la commutation des premiers transistors 30, 35.

Lors de l'étape de commutation 250, l'organe de commutation 40 commute jusqu'à sa deuxième configuration. Optionnellement, le contact mobile 90 du sectionneur 45 commute jusqu'à sa quatrième position.

Il est à noter que ce n'est pas la commutation de l'organe de commutation 40 ni celle du sectionneur 45 qui entraîne l'interruption du courant. En effet, la commutation des transistors 30, 35 étant très rapide, elle a généralement lieu avant que la commutation de l'organe 40 ait pu se terminer. Dans le cas où l'organe 40 serait capable de commuter très rapidement, la temporisation précitée assure que les transistors 30, 35 commutent avant l'organe 40.

Par exemple, l'étape de commutation 250 est mise en œuvre postérieurement à la deuxième étape d'interruption 240.

En variante, le déplacement du contact mobile 70 débute avant que le courant ne soit interrompu par les premiers transistors 30, 35, mais cette interruption intervient avant l'apparition d'un arc électrique entre le contact 70 et la borne 65.

L'étape d'actionnement 260 est mise en œuvre postérieurement à l'étape de commutation 250. En particulier, lors de l'étape d'actionnement, suite à l'interruption du courant par les premiers transistors 30, 35, le contrôleur 110 n'est pas alimenté électriquement et ne transmet donc pas de troisième signal aux premiers transistors 30, 35 qui sont donc passants, ni de deuxième signal à l'organe de commutation 40, qui est donc dans la deuxième configuration.

Optionnellement, le sectionneur de neutre S est coupé au cours de l'étape 260, si un tel sectionneur de neutre S est présent.

Lors de l'étape d'actionnement 260, un opérateur agit sur la manette 100 pour fermer le sectionneur 45 et ainsi connecter électriquement les bornes 80 et 85. Cependant, bien que les premiers transistors 30, 35 soient passants, l'organe de commutation 40, étant par défaut dans la deuxième configuration, empêche le passage du courant.

Ainsi, le courant est coupé rapidement par les JFET 30, 35 en cas de détection d'un défaut électrique. En outre, l'organe de commutation 40, étant dans la deuxième configuration et donc non-passant par défaut, assure le maintien de cette protection même lorsque le module de commande n'est pas alimenté électriquement et donc ne peut pas maintenir les JFET 30, 35 dans leur état non-passant, par exemple si un opérateur actionne la manette 100. Ainsi, malgré l'utilisation de premiers transistors 30, 35 passants par défauts, la protection électrique de l'installation reste assurée même si le contrôleur 110 n'est pas fonctionnel.

De plus, puisque les JFET coupent le courant très rapidement, l'organe de commutation n'a pas à être dimensionné de manière à permettre cette coupure, mais uniquement le maintien de l'isolation. En particulier, aucun arc électrique n'apparaît même si l'organe de commutation est du type à contact mobile, ce qui limite son usure et évite donc qu'une chambre de coupure soit requise. De manière générale, l'organe de commutation peut présenter une conductivité électrique élevée puisqu'il n'a pas à couper des courants élevés, ce rôle étant joué par les JFET, qui présentent eux naturellement une conductivité très élevée. La résistance électrique du dispositif de commutation est donc faible.

En outre, les JFET 30, 35 tendent à saturer et ainsi à limiter l'intensité du courant qui les traverse lorsque cette intensité est très élevée, par exemple en cas de court-circuit, et participent donc ainsi à la protection du réseau même avant leur coupure.

Lorsque l'organe de commutation 40 est un relais comportant un contact mobile 70, l'organe de commutation 40 permet de manière fiable une isolation efficace même en l'absence d'alimentation électrique du module de commande 25.

L'utilisation d'un sectionneur 45 distinct de l'organe de commutation 40 permet à un opérateur d'interrompre manuellement le courant sans pour autant que, par un mouvement inverse, l'opérateur ne puisse causer le passage du courant à un moment où le contrôleur 110, non fonctionnel car par exemple non alimenté électriquement, ne pourrait surveiller la présence d'un défaut et couper le courant via les premiers transistors 30, 35.

En outre, le sectionneur 45 permet une isolation galvanique entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4.

Une manette rotative 100 est un moyen efficace pour permettre à l'opérateur de commander le sectionneur 45.

Lorsque les sources de deux des premiers transistors 30, 35 sont connectées entre elles, le contrôleur 110 peut commander simplement la commutation de ces deux transistors 30, 35 en agissant sur le point milieu 55 et/ou sur la tension de grille des transistors 30, 35, et donc commander les deux transistors 30, 35 à l'aide d'un seul signal.

Des JFET en SiC ou GaN sont adaptés pour conduire de manière sécurisée des courants élevés.

Si deux groupes de premiers transistors 30, 35 sont utilisés, les transistors 30, 35 de chaque groupe étant connectés dans le même sens, plusieurs transistors participent nécessairement en même temps à la coupure du courant, quel que soit le sens de celui-ci. Ainsi, les contraintes portant sur le dimensionnement des transistors 30, 35 sont plus limitées puisque chacun ne doit supporter qu'une partie de la fonction de coupure du courant et ne doit résister qu'à une partie de la tension totale qui apparaît lors de cette coupure.

Si plusieurs paires de transistors 30, 35 ou plusieurs paires de groupes de transistors 30, 35 sont connectées en parallèle les unes des autres, la résistance totale entre l'entrée 1, 3 et la sortie 2, 4 est diminuée.

Un deuxième exemple de dispositif de commutation 15 est représenté sur la figure 3 et va maintenant être décrit. Les éléments identiques au premier exemple de la figure 1 ne sont pas décrits à nouveau. Seules les différences sont mises en évidence.

Il est à noter que si un seul dispositif de commutation 15 comportant un unique module de commutation 20 et un unique module de commande 25 dédié au seul module de commutation 20 est représenté, des modes de réalisation dans lesquels plusieurs dispositifs de commutation tels que celui de la figure 2, comportant un unique module de

commande 25 commun ou une pluralité de modules de commande 25 associés chacun à l'un des modules de commutation 20, sont également envisagés.

L'organe de commutation 40 est dépourvu de contact mobile 70, et comporte à la place au moins deux deuxièmes transistors 130 et 135, d'un type non-passant par défaut, connectés en série entre les deux bornes 60 et 65.

Les deuxièmes transistors 130 et 135 sont, par exemple, des MOSFETs

Les MOSFETs, selon l'acronyme anglophone de « Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor », en Français « transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semiconducteur ou « transistor à effet de champ à grille isolée », sont des transistors unipolaires.

Les MOSFETs non-passants par défaut sont dits « à enrichissement », et sont prévus pour que l'application d'un potentiel électrique prédéfini sur la grille entraîne l'accumulation dans le canal de porteurs de charge qui permettent alors au canal d'être conducteur, alors qu'en l'absence de ce potentiel le canal est dépourvu de porteurs de charge libres et est donc isolant.

Dans l'exemple représenté sur la figure 3, les deux deuxièmes transistors 130 et 135 sont interposés entre les deux premiers transistors 30, 35 et connectés entre eux en série tête-bêche.

En particulier, chaque deuxième transistor 130, 135 est interposé entre la source d'un premier transistor 30, 35 et le point 55. Par exemple, les drains des deux deuxièmes transistors 130, 135 sont connectés au point 55 et les sources de ces deux deuxièmes transistors 130, 135 sont connectées chacune à la source d'un premier transistor 30, 35 correspondant par l'intermédiaire d'une borne 60, 65 respective.

En outre, une diode 140 est connectée en parallèle entre la source et le drain de chacun des deux deuxièmes transistors 130, 135, la cathode de la diode étant connectée au drain du deuxième transistor 130, 135 correspondant et l'anode de la diode 140 connectée à la source.

La grille de chaque deuxième transistor 130, 135 est connectée au contrôleur 110 de manière à permettre au contrôleur 110 de rendre passant le deuxième transistor 130, 135 par l'application d'une tension électrique entre le point 55 (donc les sources des deuxièmes transistors 130, 135) et la grille.

Le point 55 est, par exemple, électriquement connecté aux drains des deux deuxièmes transistors 130, 135 et aux grilles des deux premiers transistors 30, 35, pour permettre au contrôleur 110 de commander simultanément les deux premiers transistors 30, 35 par l'application d'une tension électrique entre le point 55 et les grilles des premiers transistors 30, 35 avant la coupure des deuxièmes transistors 130, 135.

Par exemple, le point 55 est connecté à un premier point dont le potentiel électrique est fixé par le contrôleur 110 (par exemple fixé par l'alimentation électrique du contrôleur 110), tandis que les grilles des deuxièmes transistors 130, 135 sont connectées à un deuxième point dont le contrôleur 110 est configuré pour modifier le potentiel électrique, le premier point et le deuxième point étant reliés par une résistance prédéfinie.

Les grilles des premiers transistors 30, 35 sont reliées à un troisième point dont le contrôleur 110 est configuré pour faire varier le potentiel électrique. Le troisième point est, lui aussi, connecté au premier point par une résistance prédéfinie.

Un tel montage permet de commander séparément les MOSFETs 130, 135 et les JFETs 30, 35. En particulier, il permet de faire varier la tension entre la grille et la source de chacun des JFETs 30, 35 sans modifier la tension entre la grille et la source des MOSFETs, et ainsi de jouer sur la conductivité des JFETs 30, 35, notamment en imposant une tension légèrement positive (par exemple 2 V) entre la grille et la source des JFET pour en augmenter la conductivité ou en rendant les JFET non-passants par l'imposition d'une tension négative (par exemple -15V), sans changer le comportement des MOSFETs 130, 135.

Ainsi, l'ensemble des deux deuxièmes transistors 130, 135 et des diodes 140 forme un organe de commutation qui est dans sa deuxième configuration par défaut (en l'absence de tension imposée entre la grille et la source des transistors 130, 135) mais l'application d'une tension rend chacun des deux transistors 130, 135 passant à l'un des deux sens possibles de circulation du courant, et donc même si le courant est alternatif.

Le fonctionnement du deuxième exemple est similaire au premier exemple, la coupure des JFET 30, 35 précédant la coupure des deuxièmes transistors 130, 135, qui ne participent donc qu'au maintien de la coupure et non à l'interruption d'un courant en train de circuler, ce qui limite donc les contraintes pesant sur ces deuxièmes transistors 130, 135.

Il est à noter que bien que l'organe de commutation 40 ait été décrit, dans le deuxième exemple, comme étant formé de deux transistors 130, 135 connectés successivement entre les deux premiers transistors 30, 35, ce qui permet de simplifier la commande du module de commutation 20, le positionnement des transistors 130 et 135 dans le circuit électrique est susceptible de varier.

Un organe de commutation 40 à transistors, notamment à MOSFETs, permet une commutation plus rapide qu'un relais à contact mobile, tout en assurant l'isolation même en l'absence de signal de commande (i.e en cas de défaillance ou de non-alimentation du contrôleur 110). En outre, les MOSFETS sont de faible taille, ce qui permet de réduire

l'encombrement du système 10 par rapport à un système 10 utilisant un relais 40. En outre, les MOSFETs sont peu onéreux.

Selon un mode de réalisation, le rôle d'organe de commutation 40 est joué par le sectionneur 45. Dans ce cas, les moyens de commande 100 n'agissent pas directement sur l'actionneur 95, mais agissent sur le contrôleur 110, qui commande alors électriquement l'actionneur 95. En particulier, le signal électrique d'alimentation de l'actionneur 95 est coupé par le contrôleur 110 suite à l'actionnement des moyens de commande par l'opérateur.

Il est ainsi évité que le sectionneur 45 soit refermé par l'opérateur sans que le contrôleur 110 soit fonctionnel et ne puisse assurer la coupure du courant si nécessaire via les transistors 30, 35.

Bien que l'organe 40 ait été décrit ici comme comprenant soit un relais soit un ensemble de MOSFETs, il est bien évident que d'autres types d'organes 40 sont susceptibles d'être utilisés.

Selon des modes de réalisation envisageables, dont un exemple est représenté sur la figure 4, le système de commutation 10 comporte un unique dispositif de commutation 15 comprenant une unique entrée 1 et une pluralité de sorties 2, ainsi qu'un unique circuit électrique comportant au moins deux transistors 30, 35 entre l'entrée 1 et chaque sortie 2.

Notamment les deux transistors 30, 35 ou plus sont interposés entre l'entrée 1 et un point 5 du circuit auquel toutes les sorties 2 sont reliées.

Un organe de commutation 40 est interposé entre chaque sortie 2 et le point 5.

En cas de détection d'un défaut concernant un courant fourni par une sortie 2 à une installation en aval de la sortie 2 considérée, le contrôleur 110 commande la coupure du courant entre l'entrée 1 et le point 5, ainsi que la commutation de chaque organe de commutation 40 vers sa deuxième configuration respective.

Ensuite, le contrôleur 110 commande aux transistors 30, 35 de laisser à nouveau le courant circuler entre l'entrée 1 et le point 5, et rebascule chacun des organes de commutation 40 qui ne correspondent pas à la sortie 2 à laquelle le défaut est associé dans sa première configuration. Par contre, l'organe de commutation 40 qui correspond à la sortie 2 à laquelle le défaut est associé reste dans sa deuxième configuration.

Ainsi, la coupure du courant en cas de défaut reste assurée malgré l'utilisation d'un unique contrôleur 110 et surtout d'un unique ensemble de transistors 30, 35, tandis que la coupure des courants associés aux sorties 2 qui n'ont pas donné lieu à un défaut est très courte. La structure du système de commutation 10 est donc simplifiée par rapport à des cas où le courant à envoyer aux différentes sorties 2, 4 serait fourni à plusieurs entrées 1,

3 associées chacune à un dispositif de commutation 15 distinct comprenant son propre ensemble de transistors 30, 35 et son propre organe de commutation 40.

Un tel mode de réalisation est particulièrement propice à l'utilisation de relais MEMS en tant qu'organes de commutation 40, permettant une commutation rapide et donc une interruption très courte des courants 2 qui n'ont pas été associés à des défauts.

Il est à noter que, comme mentionné plus haut, en cas de détection d'un défaut, la coupure du courant par les premiers transistors 30, 35 est commandée et effective avant que l'organe de commutation 40 et/ou le sectionneur 45 ne soient basculés chacun dans leur configuration dans laquelle ils empêchent le passage du courant. Cela évite notamment de devoir dimensionner ces organes 40, 45 pour couper le courant, notamment pour couper un arc électrique qui se produirait si les organes 40, 45 étaient manœuvrés pour couper le courant alors que le courant circule.

De manière générale, c'est le cas quel que soit la raison de la coupure du courant. En d'autres termes, le contrôleur 110 est configuré pour, systématiquement, couper le premier signal (ce qui entraîne le basculement de l'organe de commutation 40 dans sa deuxième configuration) à un instant tel qu'un des premiers transistors 30, 35 au moins, notamment les deux premiers transistors 30, 35 ont basculé dans leur état non-passant avant que l'organe de commutation 40 ne bascule dans sa deuxième position. Par exemple, le premier signal est interrompu postérieurement ou au plus tard au même instant temporel où le courant est coupé par le ou les premiers transistors 30, 35. C'est le cas par exemple si un signal extérieur commande au contrôleur 110 la coupure du courant, par exemple s'il est désiré de couper le courant pour intervenir sur une installation en aval.

Lors du démarrage du système 10, si l'organe 100 est dans une position dans laquelle il ferme le sectionneur 45, le contrôleur 110 commande le basculement de l'organe de commutation 40 depuis sa deuxième configuration (dans laquelle il empêche le passage du courant) jusqu'à sa première configuration (permettant le passage du courant). Une fois l'organe de commutation 40 dans sa première configuration, par exemple après qu'une durée temporelle prédéterminée et suffisante pour permettre ce basculement s'est écoulée, alors le contrôleur 110 commande le passage de chaque premier transistor 30, 35 vers son état passant.

En cas d'action d'un opérateur sur l'organe 100 pour couper le courant, le capteur 102 détecte que l'organe 100 s'approche de la position dans laquelle l'organe 100 provoque l'ouverture du sectionneur 45. Avant que cette position soit atteinte, le capteur 102 transmet au contrôleur 110 un signal qui provoque l'émission des troisièmes signaux puis, après une temporisation prédéterminée, coupe le premier signal, de sorte que le courant est interrompu par les premiers transistors 30, 35 avant la coupure du premier signal.

De plus, le capteur 102 est configuré de manière à ce que la coupure du courant par les transistors 30, 35 a lieu à un instant où le contact mobile 90 est en contact avec les deux bornes 80 et 85, et avant que le contact mobile ne s'éloigne de l'une de ces deux bornes 80, 85. Ainsi, l'interruption du courant est effectuée par les transistors 30, 35 et non par le sectionneur 45.

Lorsque l'organe 100 est rebasculé par l'opérateur pour rétablir le courant, le contrôleur 110 commande la fermeture de l'organe 40 avant de commander le basculement des transistors 30, 35 dans leur état passant en coupant le troisième signal électrique.

Il est à noter que bien qu'un dispositif de commutation 15 d'un seul tenant soit représenté sur les figures, selon une variante envisageable, les modules 20 et 25 sont susceptibles d'être situés dans des parties différentes et distantes l'une de l'autre, mais communiquant l'une avec l'autre, du dispositif de commutation 15.

Par exemple, le dispositif de commutation 15 comporte un premier appareil comportant le module de commutation 20 et un deuxième appareil comportant le module de commande 25. Dans ce cas, le premier appareil (ou « appareil de commutation ») comporte par exemple un premier boîtier et le deuxième appareil (ou « appareil de commande ») comporte un deuxième boîtier distinct et notamment distant du premier boîtier.

L'appareil de commande 25 est configuré pour transmettre à l'appareil de commutation 20 les différents signaux électriques, par exemple via un conducteur électrique tel qu'un câble.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de commutation électrique (15) comportant une entrée (1, 3), une sortie (2, 4), un module de commutation (20) et un module de commande (25), le module de commutation (20) étant apte à conduire un courant électrique entre l'entrée (1, 3) et la sortie (2, 4), le module de commande (25) étant configuré pour détecter un défaut électrique et pour commander l'interruption du courant par le module de commutation (20) en cas de détection d'un défaut,

caractérisé en ce que le module de commutation (20) comporte un circuit électrique configuré pour conduire le courant entre l'entrée (1, 3) et la sortie (2, 4), le circuit comportant, en série, au moins deux premiers transistors JFET (30, 35) normalement passants tête-bêche et au moins un organe de commutation (40) comportant une première borne (60) et une deuxième borne (65), l'organe de commutation (40) étant configuré pour commuter entre une première configuration et une deuxième configuration, l'organe de commutation (40) permettant le passage du courant entre la première borne (60) et la deuxième borne (65) lorsque l'organe de commutation (40) est dans la première configuration, l'organe de commutation (40) empêchant le passage du courant lorsque l'organe de commutation (40) est dans la deuxième configuration, l'organe de commutation (40) étant dans la deuxième configuration par défaut, le module de commande (25) étant configuré pour générer au moins un premier signal électrique propre à maintenir l'organe de commutation (40) dans la première configuration,

le module de commande (25) étant configuré pour, en cas de détection d'un défaut, générer au moins un deuxième signal électrique de coupure à destination d'un premier transistor (30, 35), chaque deuxième signal étant apte à commander l'interruption du courant par le premier transistor (30, 35) correspondant, le module de commande (25) étant configuré pour interrompre le premier signal en réponse à la détection.

2. Dispositif de commutation selon la revendication 1, dans lequel l'organe de commutation (40) comporte un premier actionneur (75) et un premier contact (70) électriquement conducteur, le premier contact (70) étant mobile entre une première position et une deuxième position, le premier contact (70) étant dans la première position lorsque l'organe de commutation (40) est dans la première configuration et étant dans la deuxième position lorsque l'organe de commutation (40) est dans la deuxième configuration, le premier contact (70) conduisant le courant entre la

première borne (60) et la deuxième borne (65) lorsque le premier contact (70) est dans la première position, le premier contact (70) étant distant d'au moins une des première et deuxième bornes (60, 65) lorsque le premier contact (70) est dans la deuxième position, le premier actionneur (75) étant configuré pour maintenir le premier contact (70) dans la première position lorsque l'actionneur (75) est alimenté avec le premier signal électrique.

3. Dispositif de commutation selon la revendication 1, dans lequel le dispositif de commutation (15) comporte deux deuxième transistors MOSFET (130, 135), de type non-passant par défaut, en série tête-bêche entre la première borne (60) et la deuxième borne (65), chaque deuxième transistor (130, 135) conduisant le courant lorsque le deuxième transistor (130, 135) est alimenté par un premier signal respectif et empêchant le passage du courant en l'absence de premier signal.

4. Dispositif de commutation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le circuit comporte, en outre, un sectionneur (45) connecté en série avec les premiers transistors (30, 35) et avec l'organe de commutation (40), le sectionneur (45) comportant une troisième borne (80), une quatrième borne (85), un deuxième contact (90), un deuxième actionneur (95) et un organe de commande (100), le deuxième contact (90) étant mobile entre une troisième position et une quatrième position, le deuxième contact (90) conduisant le courant entre la troisième borne (80) et la quatrième borne (85) lorsque le deuxième contact (90) est dans la troisième position, le deuxième contact (90) étant distant d'au moins une des troisième et quatrième bornes (80, 85) lorsque le deuxième contact (90) est dans la quatrième position, le deuxième actionneur (95) étant configuré pour déplacer le deuxième contact (90) entre la troisième position et la quatrième position lorsque l'organe de commande (100) est actionné par un opérateur.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel l'organe de commande (100) est une manette rotative.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comportant un organe de commande (100) actionnable par un opérateur pour commander la coupure, par le module de commande (25), du premier signal.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque premier transistor (30, 35) comporte une source, un drain et une grille,

les sources de deux des premiers transistors (30, 35) étant interposées, le long du trajet du courant, entre les drains desdits deux premiers transistors (30, 35).

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le nombre de premiers transistors (30, 35) est supérieur ou égal à quatre, les premiers transistors (30, 35) étant répartis en paires de groupes de premiers transistors (30, 35), chaque groupe contenant au moins un premier transistor (30, 35) les premiers transistors (30, 35) de chaque groupe étant connectés successivement les uns aux autres en série dans le même sens si le groupe comporte plus d'un premier transistor (30, 35), chaque premier transistor (30, 35) d'un groupe étant dans le sens différent du ou des premiers transistors (30, 35) de l'autre groupe de la même paire, chaque groupe d'une paire étant connecté en série à l'autre groupe de la paire, les paires étant connectées en série les unes aux autres.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les premiers transistors (30, 35) sont réalisés en SiC ou en GaN.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une unique entrée et une pluralité de sorties (2), chaque sortie (2) étant reliée à un unique point (5), les premiers transistors (30, 35) étant interposés entre l'entrée (1) et ledit unique point (5), le module de commutation (20) comportant, pour chaque sortie (2), un organe de commutation (40) respectif interposé entre la sortie (2) et ledit unique point (5).

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un appareil de commutation et un appareil de commande, l'appareil de commutation comportant le module de commutation (20), l'appareil de commande comportant le module de commande (25), l'appareil de commutation et l'appareil de commande étant distants l'un de l'autre et étant configurés pour communiquer l'un avec l'autre.

12. Système de commutation (10) configuré pour transmettre une pluralité de courants entre des entrées (1, 3) et des sorties (2, 4) respectives, pour détecter un défaut électrique relatif à au moins un desdits courant, et pour interrompre au moins le courant correspondant en cas de détection d'un défaut électrique, comportant une pluralité de dispositifs de commutation (15) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

13. Procédé de commutation d'un courant, mis en œuvre par un dispositif de commutation électrique (15) comportant une entrée (1, 3), une sortie (2, 4), un module de commutation (20) et un module de commande (25), le module de commutation (20) étant apte à conduire un courant électrique entre l'entrée (1, 3) et la sortie (2, 4),

le module de commutation (20) comportant un circuit électrique configuré pour conduire le courant entre l'entrée (1, 3) et la sortie (2, 4), le circuit comportant, en série, au moins deux premiers transistors (30, 35) JFET normalement passants tête-bêche et au moins un organe de commutation (40) comportant une première borne (60) et une deuxième borne (65), l'organe de commutation (40) étant configuré pour commuter entre une première configuration et une deuxième configuration, l'organe de commutation (40) permettant le passage du courant entre la première borne (60) et la deuxième borne (65) lorsque l'organe de commutation (40) est dans la première configuration, l'organe de commutation (40) empêchant le passage du courant lorsque l'organe de commutation (40) est dans la deuxième configuration, l'organe de commutation (40) étant dans la deuxième configuration par défaut,

le procédé comportant des étapes de :

- génération (200), par le module de commande (25), d'au moins un premier signal électrique propre à maintenir l'organe de commutation (40) dans la première configuration,

- détection (210) d'un défaut électrique par le module de commande (25),

- suite à la détection d'un défaut, interruption (220) du premier signal par le module de commande (25) et génération (230) par le module de commande (25) d'un deuxième signal électrique de coupure à destination de chaque premier transistor (30, 35),

- suite à la réception du deuxième signal correspondant, interruption (240) du courant par au moins un premier transistor (30, 35), et

- commutation (250) de l'organe de commutation (40) dans la deuxième configuration.

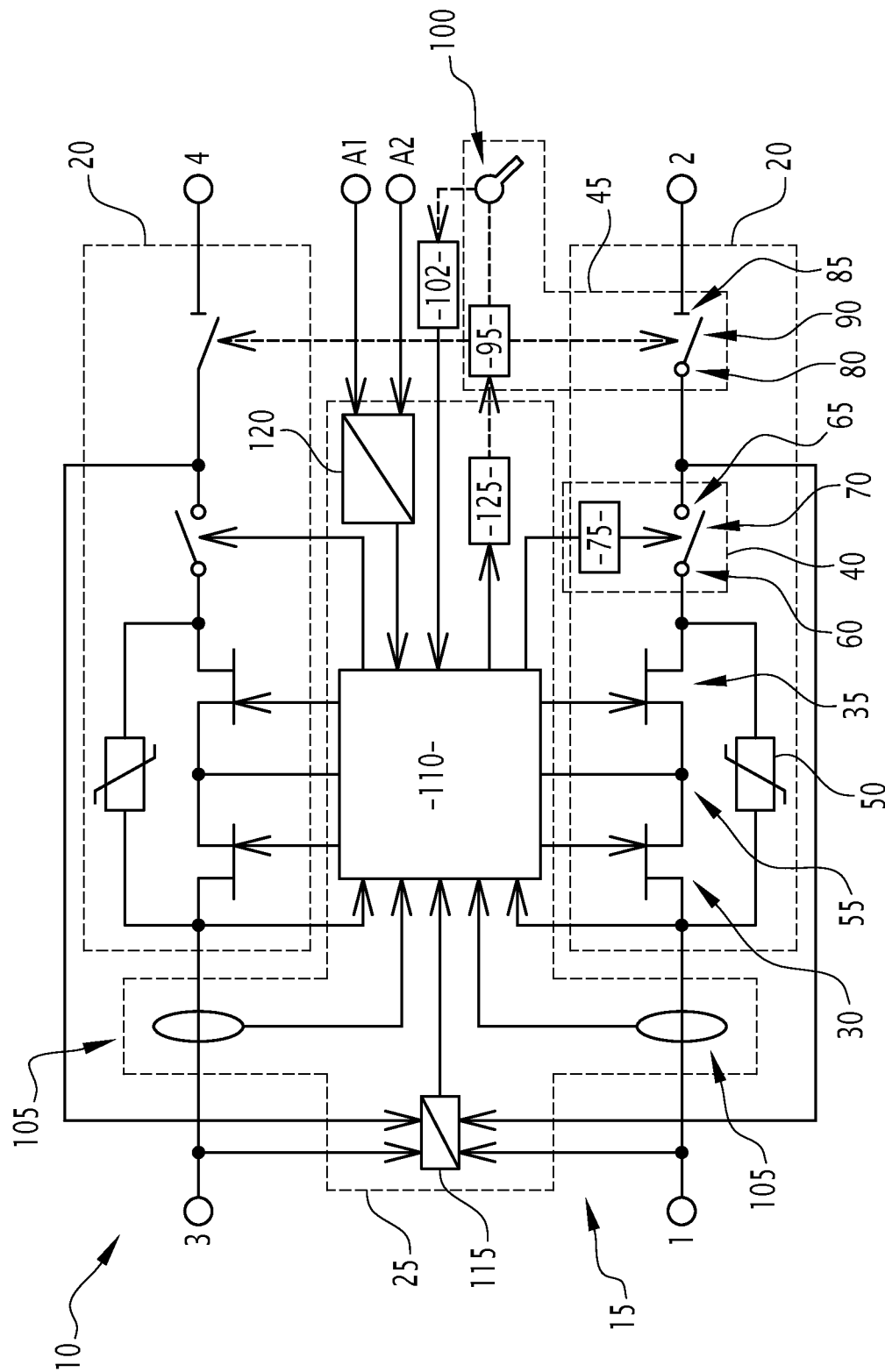
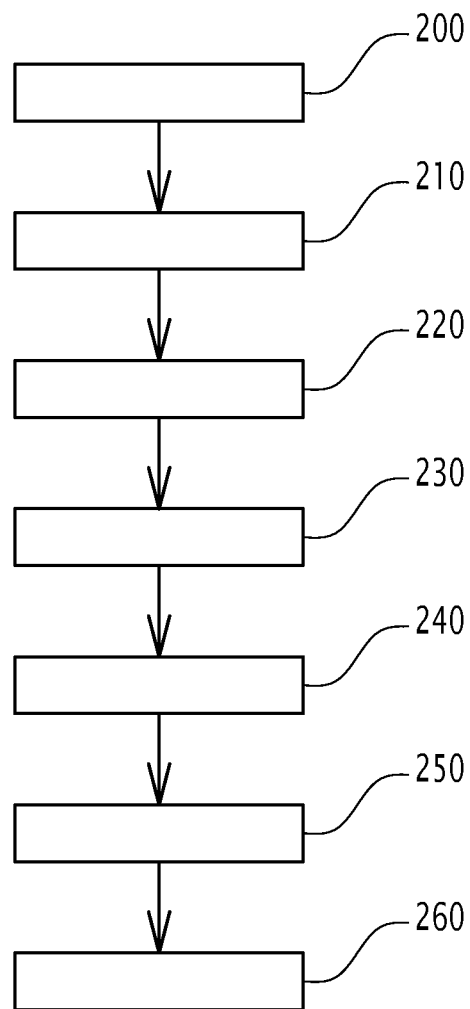


FIG.1

2/4

**FIG.2**

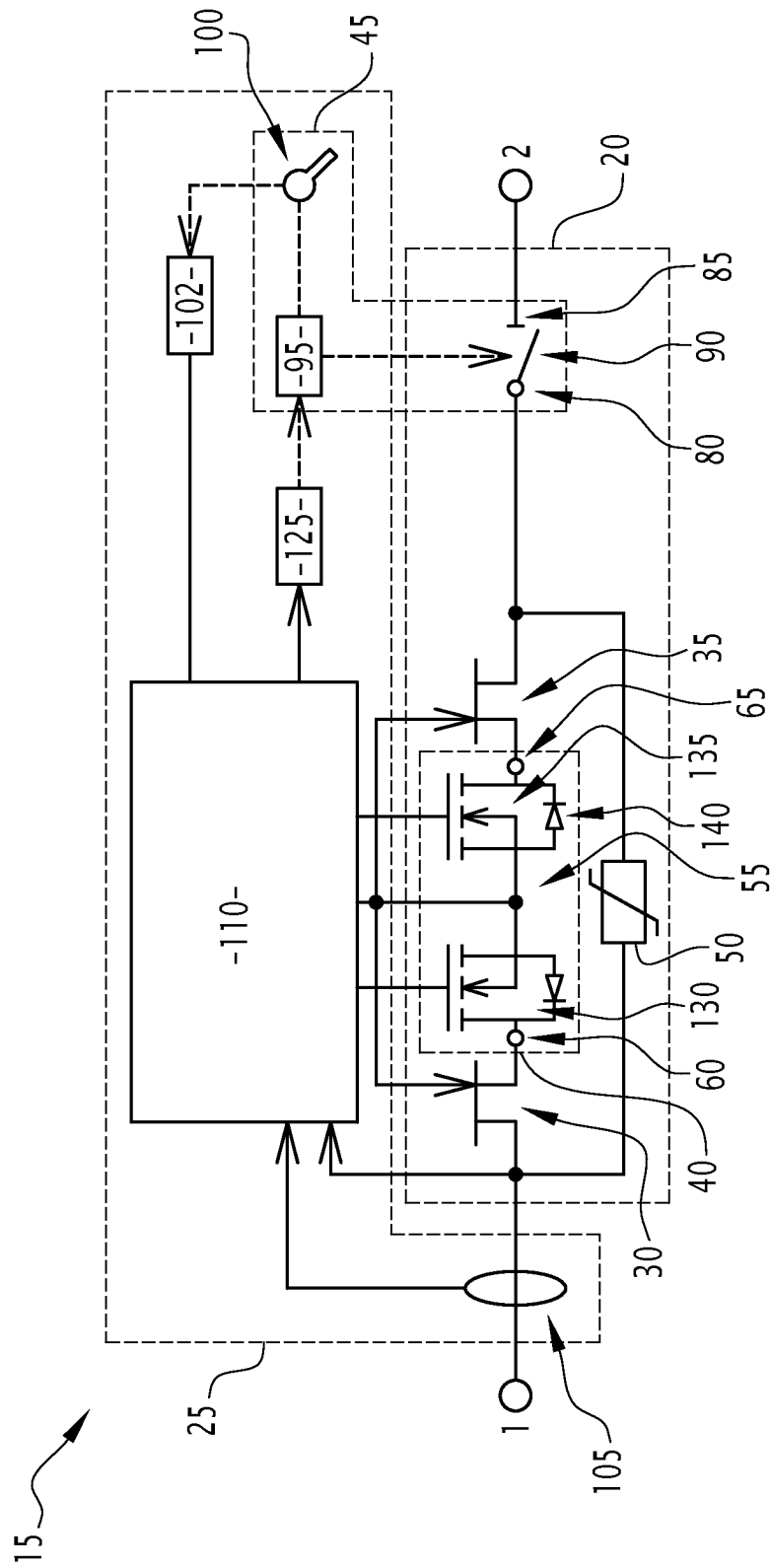


FIG. 3

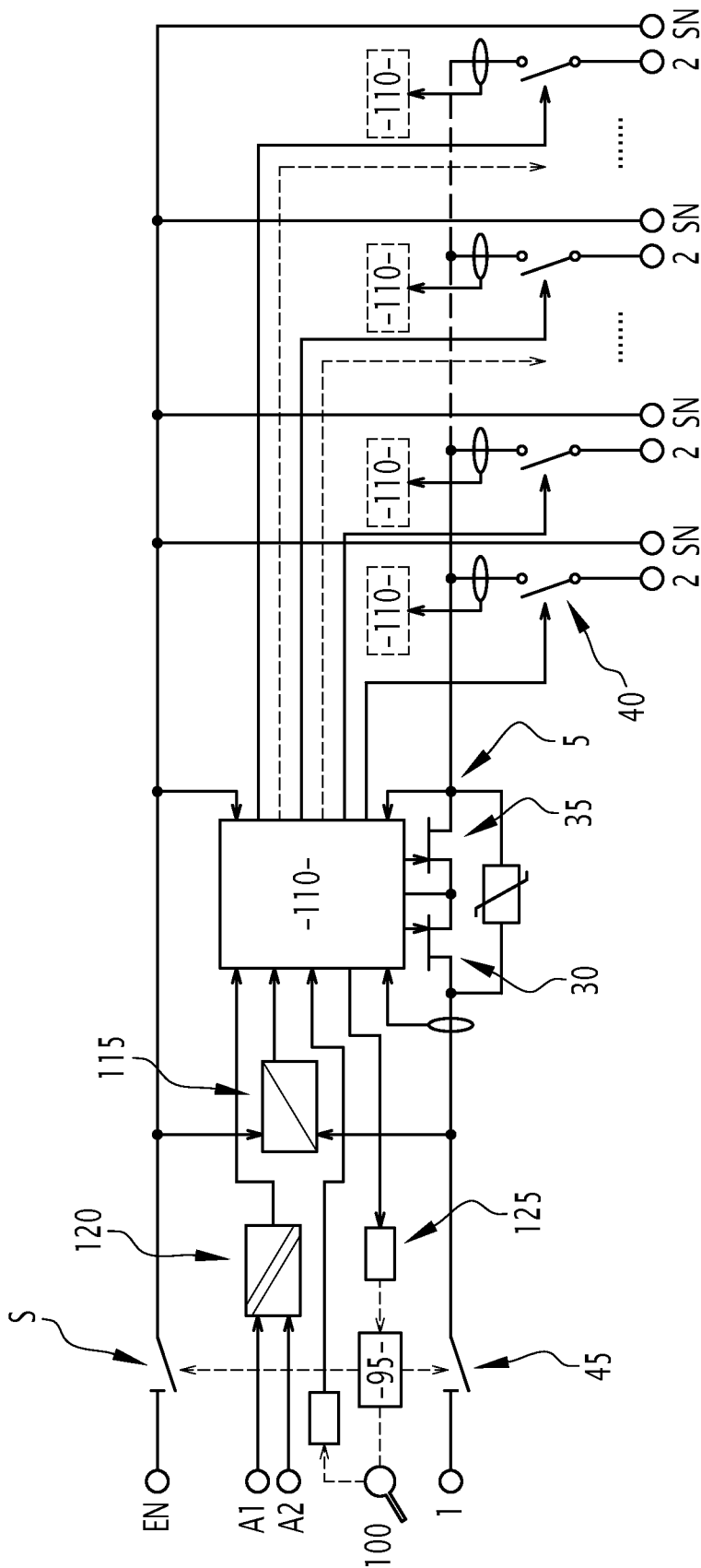


FIG. 4

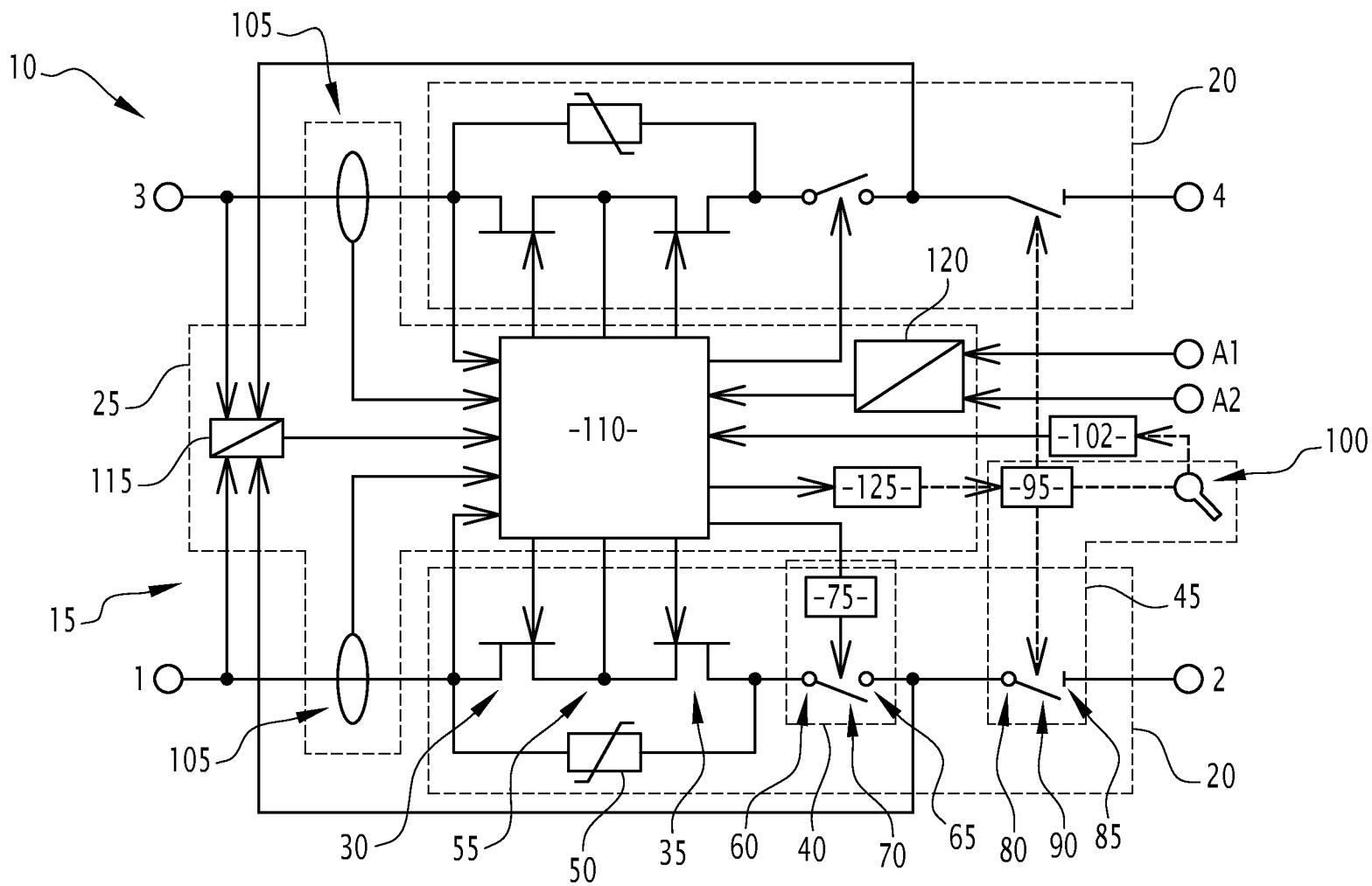


FIG. 1