

(19)



(11)

EP 3 435 396 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
01.04.2020 Bulletin 2020/14

(51) Int Cl.:
H01H 47/02 (2006.01) H01H 47/22 (2006.01)
H01H 47/32 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18185578.4**

(22) Date de dépôt: **25.07.2018**

(54) **APPAREIL COMMANDABLE DE COUPURE D'UN COURANT ÉLECTRIQUE ET ENSEMBLE ÉLECTRIQUE COMPRENANT CET APPAREIL**

STEUERBARES GERÄT ZUR UNTERBRECHUNG EINES ELEKTRISCHEN STROMS, UND ELEKTRISCHE ANLAGE, DIE EIN SOLCHES GERÄT UMFASST

CONTROLLABLE APPARATUS FOR CUTTING AN ELECTRICAL CURRENT AND ELECTRICAL ASSEMBLY COMPRISING THIS APPARATUS

(84) Etats contractants désignés:

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

(30) Priorité: **26.07.2017 FR 1757100**

(43) Date de publication de la demande:
30.01.2019 Bulletin 2019/05

(73) Titulaire: **Schneider Electric Industries SAS
92500 Rueil-Malmaison (FR)**

(72) Inventeurs:

- **URANKAR, Lionel
38050 Grenoble Cedex 09 (FR)**
- **FOLLIC, Stéphane
38050 Grenoble Cedex 09 (FR)**
- **RIZZUTO, Silvio
38050 Grenoble Cedex 09 (FR)**

(74) Mandataire: **Lavoix
62, rue de Bonnel
69448 Lyon Cedex 03 (FR)**

(56) Documents cités:
EP-A1- 3 041 102 FR-A1- 2 977 401

EP 3 435 396 B1

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

Description

[0001] La présente invention concerne un appareil commandable de coupure d'un courant électrique. L'invention concerne également un ensemble électrique comprenant cet appareil.

[0002] De façon connue, il existe des appareils de coupure d'un courant électrique, tels que des contacteurs, qui sont commandables à distance pour interrompre sélectivement la circulation d'un courant électrique au sein d'un circuit électrique, par exemple pour piloter l'alimentation d'une charge électrique. On connaît notamment des contacteurs et des télerupteurs électromécaniques, qui sont commandés au moyen d'un signal électrique pour commuter entre des états ouvert ou fermé. De tels appareils électromécaniques ont pendant longtemps donné satisfaction. Un exemple d'appareil de l'état de la technique est décrit dans FR-A-2977401.

[0003] Toutefois, de nouvelles applications rendent de plus en plus souhaitable l'intégration de nouvelles fonctionnalités, dites intelligentes, au sein des appareils de coupure contemporains, notamment en matière de pilotage et de communication à distance. En particulier, des installations industrielles et/ou domestiques nécessitent de pouvoir être surveillées et commandées à distance, par exemple pour des besoins de délestage ou de gestion d'applications domestiques, ou encore de diagnostic à distance.

[0004] L'ajout de telles fonctionnalités passe par l'intégration d'éléments électroniques au sein de ces appareils, ce qui ne va pas sans poser certains inconvénients.

[0005] D'une part, l'encombrement et les dimensions de ces appareils doivent être strictement maîtrisés. Il est impératif que ces appareils présentent une taille qui les rendent compatibles avec les installations existantes. Ils doivent donc présenter des dimensions n'excédant pas celle des appareils connus, ces dimensions étant généralement faibles. Cela pose une contrainte forte en termes d'intégration et de miniaturisation des constituants de ces contacteurs.

[0006] D'autre part, l'ajout de composants électroniques et de circuits dédiés entraîne une augmentation de la consommation électrique par rapport aux dispositifs électromécaniques. Cette consommation engendre un surcoût pour l'utilisateur, ainsi qu'une dissipation thermique qu'il est nécessaire de maîtriser. Cette dissipation thermique est d'autant plus gênante du fait des exigences de miniaturisation précitées, car la puissance dissipée, rapportée au faible volume de l'appareil, peut devenir élevée au point d'être préjudiciable à son bon fonctionnement ou à sa durabilité. La consommation électrique doit donc être optimisée.

[0007] C'est à ces inconvénients qu'entend plus particulièrement remédier l'invention en proposant un appareil commandable pour la coupure d'un courant électrique pouvant être commandé de façon améliorée et présentant une gestion en énergie optimisée et un encombrement maîtrisé.

[0008] A cet effet, l'invention concerne un appareil commandable de coupure d'un courant électrique, cet appareil de coupure étant adapté pour être connecté entre une charge électrique et une source d'alimentation électrique, de manière à sélectivement autoriser ou inhiber l'alimentation électrique de la charge électrique par la source d'alimentation, l'appareil de coupure comportant :

- un relais bistable comprenant des contacts électriques séparables et une bobine d'excitation pour commander la commutation des contacts électriques, ces contacts électriques étant adaptés pour raccorder la charge électrique à la source d'alimentation, le relais étant adapté pour commuter les contacts électriques entre des états ouvert et fermé lorsque la bobine reçoit une quantité d'énergie supérieure à un seuil d'énergie d'excitation prédéfini avec une puissance électrique supérieure à un seuil de puissance prédéfini ;
- un circuit de commande comprenant un étage de puissance et un étage logique, l'étage de puissance étant adapté pour fournir une alimentation électrique à l'étage logique, l'étage logique comprenant un circuit d'excitation pour alimenter la bobine et un microcontrôleur programmable qui pilote le circuit d'excitation pour déclencher la commutation du relais,

L'étage de puissance comprend un convertisseur de puissance, un premier ensemble de condensateurs connecté en entrée du convertisseur de puissance et un deuxième ensemble de condensateurs connecté en sortie du convertisseur de puissance,

la puissance nominale du convertisseur de puissance étant strictement inférieure au seuil de puissance d'excitation de la bobine,

les premier et deuxième ensembles de condensateurs étant adaptés pour stocker une quantité d'énergie supérieure ou égale à 50% du seuil d'énergie d'excitation requis pour commuter le relais.

[0009] Grâce à l'invention, en stockant dans des condensateurs l'énergie pouvant servir à exciter la bobine du relais, on évite d'augmenter brusquement la consommation électrique du circuit de commande au moment de commander la commutation du relais. De fait, la puissance électrique devant être fournie à l'appareil électrique est plus stable au cours du temps. Cela permet de réduire la dissipation thermique de l'appareil électrique et également de simplifier la conception de l'étage de puissance. En outre, l'utilisation d'un convertisseur de puissance dont la puissance nominale est strictement inférieure à la puissance d'excitation de la bobine du relais autorise une consommation électrique réduite. Ainsi, la

consommation d'énergie de l'appareil électrique est maîtrisée et la dissipation thermique est réduite.

[0010] Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, un tel appareil peut incorporer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toute combinaison techniquement admissible :

- 5 - Le convertisseur de puissance est un convertisseur Flyback comprenant un transformateur de tension, le premier ensemble de condensateurs étant connecté à un enroulement primaire du transformateur, le deuxième ensemble de condensateurs étant connecté à un enroulement secondaire du transformateur.
- Le deuxième ensemble de condensateurs est adapté pour stocker au moins 50% de l'énergie d'excitation nécessaire pour commuter le relais.
- 10 - Les condensateurs du premier ensemble sont en céramique et en ce que les condensateurs du deuxième ensemble sont en tantale.
- L'étage de puissance comporte un convertisseur de puissance additionnel adapté pour fournir une tension électrique continue stabilisée pour alimenter électriquement au moins une partie de l'étage logique.
- Le microcontrôleur est programmé pour piloter le circuit d'excitation selon une technique de modulation de largeur d'impulsions, le circuit d'excitation étant adapté pour alimenter la bobine avec une tension d'alimentation modulée.
- 15 - Le microcontrôleur est programmé pour mettre en œuvre, après avoir ordonné la commutation du relais suite à la réception d'un ordre de commande, des étapes :
 - de détermination d'un ordre de commutation antérieur précédemment reçu,
 - 20 - de détermination d'un état de circulation du courant électrique vers la charge électrique par l'intermédiaire des contacts électriques du relais, cet état pouvant indiquer l'absence ou la présence d'un courant,
 - d'estimation d'un état du relais à partir de règles prédéfinies et en fonction de l'état de circulation de courant déterminé et de l'ordre de commutation antérieur.
- 25 - Le microcontrôleur est programmé pour mettre en œuvre, après avoir ordonné la commutation du relais suite à la réception d'un ordre de commande, des étapes :
 - de mesure du temps nécessaire à la commutation du relais ;
 - de comparaison du temps mesuré avec une valeur de temps de commutation du relais connue, pour déterminer
 - 30 si le temps mesuré est différent de la valeur de temps de commutation connue,
 - de mise à jour de la valeur de temps de commutation connue, à partir de la valeur du temps mesuré, uniquement si le temps mesuré est déterminé comme étant différent de la valeur de temps de commutation connue.
- Le microcontrôleur est programmé pour mettre en œuvre des étapes :
 - 35 - d'identification du type de la charge électrique ;
 - de choix d'une stratégie de synchronisation de la commutation en fonction du type de charge identifié ;
 - suite à la réception d'un ordre de commutation, de mise en œuvre de la stratégie de synchronisation choisie, cette mise en œuvre comportant la mesure d'au moins une grandeur électrique entre des bornes d'alimentation
 - 40 de la charge électrique pour détecter une condition de commutation correspondant à la stratégie de synchronisation choisie ;
 - de déclenchement de la commutation du relais lorsqu'une condition de commutation correspondant à cette stratégie de commutation est identifiée à partir de la au moins une grandeur électrique mesurée, le déclenchement de la commutation du relais étant inhibé, au moins temporairement, tant qu'une condition de commutation
 - 45 correspondant à cette stratégie de commutation n'est pas identifiée.
- L'étage logique comprend une interface de communication radio adapté pour être connectée avec une antenne radio, ladite antenne radio étant placée à l'extérieur d'un boîtier de l'appareil et raccordée à l'interface.

50 **[0011]** Selon un autre aspect, l'invention concerne un ensemble électrique comprenant une charge électrique, une source d'alimentation électrique apte à délivrer une tension électrique d'alimentation, et un appareil de coupure d'un courant électrique, l'appareil de coupure étant raccordé entre la charge électrique et la source d'alimentation électrique et comprenant à cet effet un relais commandable dont des contacts électriques séparables raccordent sélectivement les bornes d'alimentation de la charge électrique à la source ou, en alternance, les isolent électriquement de la source,

55 l'ensemble électrique étant tel que précédemment décrit.

[0012] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre, d'un mode de réalisation d'un contacteur donné uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un contacteur conforme à l'invention pour piloter l'alimentation d'une charge électrique ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'un étage de puissance d'un circuit de commande du contacteur de la figure 1 ;
- 5 - la figure 3 est une représentation schématique d'un convertisseur de puissance de l'étage de puissance de la figure 2 ;
- la figure 4 est une représentation schématique d'un circuit de déclenchement d'un relais bistable du contacteur de la figure 1 ;
- la figure 5 est une représentation synoptique simplifiée d'un circuit de commande d'un étage logique du contacteur de la figure 1 ;
- 10 - la figure 6 est une représentation synoptique simplifiée d'un microcontrôleur de l'étage logique de la figure 5 ;
- la figure 7 est un ordinogramme d'un procédé de détection de l'état de contacts électriques du contacteur de la figure 1, mis en œuvre à l'aide de l'étage logique de la figure 5 ;
- la figure 8 est un ordinogramme d'un procédé d'apprentissage d'un temps de commutation des contacts électriques du contacteur de la figure 1, mis en œuvre à l'aide de l'étage logique de la figure 5 ;
- 15 - la figure 9 est un ordinogramme d'un procédé de détection de gestion de la commutation des contacts électriques du contacteur de la figure 1, mis en œuvre à l'aide de l'étage logique de la figure 5 ;
- la figure 10 est un chronogramme simplifié illustrant l'évolution temporelle de signaux de commande pour assurer la commutation des contacts électriques du contacteur de la figure 1, lorsque le procédé de la figure 9 est mis en œuvre.

[0013] La figure 1 représente un appareil électrique 1 commandable pour la coupure d'un courant électrique, tel qu'un contacteur ou un térupteur.

[0014] L'appareil 1 est connecté entre une charge électrique 2 et une source 3 d'alimentation électrique extérieure, par exemple au sein d'une installation électrique domestique ou industrielle.

25 **[0015]** La charge électrique 2 comporte un équipement ou un ensemble d'équipements électriques destinés à être alimentés électriquement par l'intermédiaire de bornes d'alimentation.

[0016] L'appareil 1 a pour fonction de raccorder sélectivement la charge 2 à la source 3 pour autoriser la circulation d'un courant électrique alimentant la charge 2 ou, en alternance, d'isoler la charge 2 de la source 3, pour empêcher l'alimentation de la charge 2.

30 **[0017]** A cet effet, l'appareil 1 comporte ici un relais bistable 4 et un circuit de commande 5 pour piloter le relais 4.

[0018] Le relais 4 comporte des contacts électriques séparables 41, pour connecter sélectivement la source 3 à la charge 2.

[0019] Les contacts électriques 41 comportent des parties fixes et des parties mobiles. Par exemple, des premières parties fixes des contacts électriques 41 sont connectées à la source 3. Des deuxièmes parties fixes des contacts électriques 41 sont connectées aux bornes d'alimentation de la charge 2. Les parties mobiles des contacts électriques 41 sont déplaçables, sélectivement et réversiblement, entre un état fermé et un état ouvert.

[0020] Dans l'état fermé, les parties mobiles connectent les première et deuxième parties fixes entre elles. Les contacts 41 raccordent donc les bornes d'alimentation de la charge 2 à la source 3.

40 **[0021]** Dans l'état ouvert, les parties mobiles sont séparées des première et deuxième parties fixes, les isolant ainsi l'une de l'autre. Les contacts 41 isolent donc les bornes d'alimentation de la charge électrique 2 par rapport à la source 3, empêchant ainsi la circulation d'un courant électrique d'alimentation vers la charge électrique 2.

[0022] Pour simplifier la figure 1, les parties fixes et mobiles des contacts électriques 41 ne sont pas illustrées.

[0023] Dans ce qui suit, les termes « déplacement des contacts 41 » et « état du relais 4 » font aussi référence à l'état fermé ou ouvert des parties mobiles des contacts électriques 41.

45 **[0024]** Le relais 4 comporte également au moins une bobine 42 d'excitation, adaptée pour exercer une force magnétique pour commuter, ou déplacer, les contacts 41 entre les états ouvert et fermé lorsque cette bobine 42 est excitée par le circuit de commande 5.

[0025] De façon connue, la bobine 42 compote ici un fil électriquement conducteur enroulé en une ou plusieurs spires pour former un solénoïde. L'excitation de la bobine 42 consiste à envoyer un courant électrique d'alimentation dans ce fil conducteur pour générer un flux magnétique.

50 **[0026]** On nomme « puissance d'excitation » ou « puissance d'activation » la puissance électrique minimale devant être fournie à la bobine 42, pendant une durée supérieure ou égale à un seuil prédéfini, en vue d'assurer la commutation du relais 4. L'énergie d'excitation minimale correspond au produit de la puissance d'excitation et du seuil prédéfini de durée. En d'autres termes, pour commuter le relais 4, la bobine 42 doit recevoir une énergie électrique supérieure à un seuil d'énergie d'excitation prédéfini avec une puissance électrique supérieure à un seuil de puissance d'excitation prédéfini.

55 **[0027]** Dans l'exemple qui suit, le relais 4 comporte une seule bobine 42. Cependant, le fonctionnement décrit est transposable aux variantes dans lesquelles le relais 4 comporte plusieurs bobines 42, chacune devant alors être excitée

pour déclencher la commutation. Dans un tel cas, la puissance d'excitation décrite ci-après en référence aux dimensionnements de l'étage de puissance se comprend comme la puissance électrique nécessaire à l'excitation de toutes ces bobines 42.

[0028] Dans cet exemple, pour exciter la bobine 42, il est nécessaire de lui fournir une puissance supérieure ou égale à 1W pendant une durée supérieure ou égale à 15ms. La durée de commutation nominale du relais est ici de 10ms. D'autres valeurs sont toutefois possibles, en fonction du relais 4 utilisé.

[0029] Le relais 4 étant un relais bistable, la commutation du relais 4 vers l'un ou l'autre des états ouvert et fermé est effectuée en excitant la bobine 42 de façon identique, par exemple en lui fournissant une même quantité d'énergie. En d'autres termes, une fois que la commutation du relais 4 est effective, le relais 4 reste, de façon stable, dans le même état jusqu'à ce que la bobine 42 soit à nouveau excitée et reçoive une quantité d'énergie suffisante pour commuter vers l'état opposé.

[0030] Dans l'exemple qui suit, le relais 4 comporte une seule bobine 42. Cependant, le fonctionnement ici décrit est transposable aux variantes dans lesquelles le relais 4 comporte plusieurs bobines 42, chacune devant alors être excitée pour déclencher la commutation. Dans un tel cas, lors de la commutation, l'étage de puissance 6 doit fournir la puissance et l'énergie électrique nécessaire à l'excitation simultanée de toutes ces bobines 42.

[0031] Le circuit de commande 5 comporte ici un étage de puissance 6 et un étage logique 7.

[0032] L'étage 6 a pour fonction de générer une tension électrique continue et stabilisée à partir d'une tension électrique alternative d'alimentation, notamment pour alimenter électriquement l'étage logique 7 de manière à en assurer le bon fonctionnement.

[0033] L'étage de puissance 6 est ici destiné à être connecté électriquement à la source 3 pour la une tension électrique alternative d'alimentation. En variante, l'étage de puissance 6 peut recevoir une tension d'alimentation depuis une source de tension distincte de la source 3.

[0034] L'étage logique 7 comporte notamment un microcontrôleur 71 programmable et un circuit d'excitation 72 pour exciter la bobine 42 du relais 4, c'est-à-dire, comme expliqué ci-dessus, pour injecter un courant électrique dans la bobine 42 de manière à lui fournir l'énergie et la puissance requises pour assurer la commutation. Cette énergie électrique provient de l'étage de puissance 6.

[0035] Le circuit 72 est à cet effet piloté par le microcontrôleur 71 et alimenté de façon régulée par l'étage de puissance 6, par exemple suivant une technique de modulation de largeur d'impulsions, notée PWM pour « pulse width modulation » en langue anglaise. Ce pilotage par le microcontrôleur 71 est décrit plus en détail dans ce qui suit.

[0036] L'appareil 1 comporte également un boîtier de protection, non illustré, à l'intérieur duquel sont logés, en particulier, le relais 4 et le circuit de commande 5. Le boîtier est réalisé en une matière électriquement isolante. Par exemple, il s'agit d'un boîtier moulé en plastique. Les dimensions du boîtier sont de préférence normalisées. Par exemple, le boîtier présente une largeur inférieure ou égale à 18mm.

[0037] Les figures 2 et 3 représentent plus en détail un exemple de l'étage de puissance 6 de l'appareil 1.

[0038] Dans cet exemple, l'entrée de l'étage de puissance 6 est adaptée pour être raccordée à la source 3 par des bornes d'entrée, ici notés P et N, respectivement pour « phase » et « neutre ».

[0039] La source 3 est apte à fournir une tension électrique d'alimentation alternative. Il s'agit, par exemple, d'un générateur électrique ou d'un réseau de distribution électrique. Par exemple, la tension d'alimentation présente une amplitude comprise entre 85V AC et 276V AC et une fréquence comprise entre 45Hz et 65Hz. L'appareil 1 présente ici une large plage d'entrée, le rendant apte à fonctionner sur des réseaux électriques alimentés en 110V AC ou en 220V AC, ainsi que sur des réseaux électriques fonctionnant en 50Hz ou en 60Hz.

[0040] L'étage de puissance 6 comporte notamment un redresseur 61, un premier convertisseur de puissance continu-continu 62, un ensemble de condensateurs d'entrée 63, un ensemble de condensateurs de sortie 64, ainsi qu'un deuxième convertisseur de puissance continu-continu 65.

[0041] De façon optionnelle, l'étage de puissance 6 comporte en outre une réserve d'énergie 66, dont le rôle est décrit dans ce qui suit.

[0042] Le redresseur 61 est configuré pour transformer la tension alternative d'alimentation reçue en entrée entre les bornes P et N, en une première tension continue, dite tension redressée notée V_RECT. Cette tension redressée est ici délivrée en sortie du redresseur 61 entre un premier rail d'alimentation électrique et une première masse électrique « 0V » de l'étage 6. Par exemple, le redresseur 61 comporte un pont de diodes.

[0043] Dans ce qui suit, pour simplifier, le rail d'alimentation est désigné par la même référence que le potentiel électrique auquel il est porté. La masse 0V a ici un potentiel électrique nul. La différence de potentiel entre le rail d'alimentation V_RECT et la masse 0V est donc égale au potentiel électrique auquel le rail d'alimentation V_RECT est porté.

[0044] Le convertisseur 62 est ici configuré pour transformer la tension redressée V_RECT en une deuxième tension continue VDD. Cette tension redressée est délivrée en sortie entre un deuxième rail d'alimentation électrique VDD et une deuxième masse électrique « 0V_ISO » de l'étage 6. Cette deuxième masse 0V_ISO est ici isolée galvaniquement par rapport à la première masse 0V, grâce au convertisseur 62.

[0045] Par exemple, la tension VDD présente une amplitude égale à 6V. Toutefois, en pratique, la tension VDD, bien que continue, peut fluctuer au cours du temps autour d'une valeur moyenne.

[0046] L'isolation galvanique est particulièrement avantageuse dans le cas où l'appareil 1 est adapté pour communiquer par radio. Dans un tel cas, une antenne radio est utilisée. Lorsque l'appareil 1 est installé dans un tableau électrique, la présence de nombreux appareils électriques et de conducteurs électriques, telles que des barres omnibus de raccordement, est une source d'interférences. Une telle antenne radio est généralement installée à l'extérieur du boîtier de l'appareil 1. De fait, l'antenne radio est donc accessible à un utilisateur tout en étant connectée à des composants internes de l'appareil 1 qui sont potentiellement exposés à la tension d'alimentation provenant de la source 3. Une bonne isolation électrique est donc primordiale pour éviter de causer un risque électrique vis-à-vis d'utilisateurs.

[0047] Avantageusement, le convertisseur 62 est dimensionné de sorte à présenter une puissance nominale qui est strictement inférieure à la puissance d'excitation de la bobine 42. Cette puissance nominale est de préférence inférieure ou égale à 75% de la puissance d'excitation de la bobine 42. La puissance nominale correspond ici à la puissance électrique qui est transmise en sortie par le convertisseur 62. Elle n'inclut donc pas la puissance thermique dissipée par le convertisseur 62.

[0048] Dans ce qui suit, on nomme « puissance de fonctionnement » la puissance électrique consommée par l'étage 6 lors de son fonctionnement en l'absence d'excitation de la bobine 42. Par exemple, en pratique, il s'agit plus précisément d'une valeur moyenne de puissance autour de laquelle peut fluctuer la puissance électrique consommée à chaque instant par l'étage 6.

[0049] Cette puissance de fonctionnement est ici strictement inférieure à la puissance consommée par l'étage 6 lors de l'excitation de la bobine 42.

[0050] Dans cet exemple, la puissance de fonctionnement, consommée par l'étage de puissance 6 lors de son fonctionnement normal en l'absence d'excitation de la bobine, est égale à 0,2 W.

[0051] Le convertisseur 62 comporte un transformateur de tension. Cela permet notamment d'assurer une isolation galvanique entre les masses 0V et 0V_ISO.

[0052] De préférence, le convertisseur 62 est un convertisseur « Flyback », aussi nommé « convertisseur à accumulation ». Cela permet en outre d'assurer une large plage d'entrée en termes d'amplitude des tensions électriques d'entrée.

[0053] Comme illustré à la figure 3, le convertisseur 62 comporte ici un transformateur 621 qui comprend un enroulement primaire 622, un enroulement auxiliaire 623 et un enroulement secondaire 624, formés autour d'un noyau magnétique 625, par exemple en ferite.

[0054] Dans cet exemple, le convertisseur 62 comprend en outre un circuit de régulation auxiliaire incluant :

- un circuit d'écrêtage 626, comprenant, par exemple, une ou plusieurs diodes de suppression de tensions transitoires, dites diodes Transil, et/ou des diodes Zener et/ou un circuit comprenant une résistance, une diode et un condensateur de type « RCD snubber » en langue anglaise ;
- un interrupteur commandable 627 à haute fréquence, connecté à un rail d'alimentation auxiliaire V_AUX aux bornes de l'enroulement auxiliaire 623 qui alimente un circuit de commande de l'interrupteur 627, la tension entre le rail d'alimentation auxiliaire V_AUX et la masse 0V étant une tension continue V_AUX qui dépend de la tension V_RECT.

[0055] A cet effet, le groupe 626 est connecté en entrée au rail d'alimentation V_RECT et, en sortie, à une borne du premier enroulement 622 d'une part et à un rail de tension V_AUX qui est alimenté à une tension dite auxiliaire et également notée V_AUX. La borne opposée du premier enroulement 622 est connectée au rail d'alimentation V_RECT. Le régulateur 627 est connecté en entrée au rail V_AUX et, en sortie, à la sortie du groupe 626. L'enroulement auxiliaire 623 est connecté d'une part au rail V_AUX et d'autre part à la masse 0V. L'enroulement secondaire 624 est connecté d'une part au rail VDD et d'autre part à la masse 0V_ISO.

[0056] En variante, la régulation du convertisseur 62 peut être réalisée différemment.

[0057] Dans cet exemple, le dimensionnement du convertisseur 62 en termes de puissance nominale est en partie réalisé en choisissant les propriétés du noyau magnétique 625, par exemple pour que celui-ci ne permette de laisser passer qu'une puissance limitée, inférieure à la puissance d'excitation de la bobine 42.

[0058] Par exemple, dans un mode de réalisation préféré, le transformateur 62 est dimensionné de façon à transférer vers la sortie du convertisseur 62 jusqu'à 75% de la puissance d'excitation de la bobine 42 sans saturer magnétiquement le noyau 625.

[0059] Dans cet exemple, le convertisseur 62 est configuré pour fournir une puissance de sortie de 0,2 Watts en permanence.

[0060] En outre, le diamètre des fils conducteurs formant les enroulements 622, 623 et 624 est choisi le plus faible possible, en fonction de la puissance de fonctionnement de l'étage 6 en l'absence d'excitation de la bobine 42. Toutefois, les fils conducteurs n'ont pas un diamètre trop faible, pour ne pas augmenter le risque de casse du fil lors de la fabrication des enroulements.

[0061] Dans cet exemple, les diamètres sont choisis pour que le convertisseur 62 fournisse une puissance de sortie de 0,2W en permanence, avec une densité de courant de 10A/mm² au niveau des fils conducteurs.

[0062] A titre d'exemple non limitatif, les enroulements 622 et 623 sont ici formés par enroulement d'un fil conducteurs en cuivre de diamètre 40 sur l'échelle AWG dite « American Wire Gauge » et l'enroulement 624 est ici formé par enroulement d'un fil conducteurs en cuivre de diamètre 36 sur l'échelle AWG.

[0063] En variante, ces valeurs peuvent être choisies différemment, notamment en fonction des caractéristiques de la bobine 42.

[0064] L'ensemble de condensateurs 63 comporte un ou plusieurs condensateurs connectés électriquement en parallèle. Cet ensemble de condensateurs 63 est connecté en entrée du convertisseur 62, par exemple entre le rail V RECT et la masse 0V. La valeur de capacité de l'ensemble 63 est notée « Cin » dans ce qui suit.

[0065] Comme illustré à la figure 2, l'ensemble de condensateurs 64 comporte un ou plusieurs condensateurs connectés électriquement en parallèle. Cet ensemble de condensateurs 63 est connecté en sortie du convertisseur 62, par exemple entre le rail VDD et la masse 0V. La valeur de capacité de l'ensemble 64 est notée « Cout » dans ce qui suit.

[0066] Les ensembles de condensateurs 63 et 64 sont configurés pour stocker, ensemble, au moins une partie de l'énergie nécessaire à l'excitation de la bobine 42, par exemple plus de 50% de l'énergie nécessaire à l'excitation de la bobine 42 ou, préférentiellement, plus de 80%, ou encore plus préférentiellement, plus de 90% de l'énergie nécessaire à l'excitation de la bobine 42.

[0067] En outre, ces ensembles de condensateurs 63 et 64 sont adaptés pour se décharger de sorte à alimenter le circuit d'excitation 72, et donc la bobine 42, lorsque la commutation du relais 4 est commandée, par exemple lorsque le circuit d'excitation 72 est activé par le microcontrôleur 71 et que la tension alternative d'alimentation présente une amplitude inférieure à un seuil de tension.

[0068] Ainsi, dans cet exemple, lorsque l'excitation de la bobine 42 est commandée, et que la tension alternative d'alimentation est insuffisante pour permettre à elle seule l'excitation de la bobine 42, alors l'énergie d'excitation nécessaire provient majoritairement, voire totalement, des condensateurs 63 et 64. En revanche, lorsque la tension alternative d'alimentation entrante a une valeur maximale, alors la puissance fournie par cette tension d'alimentation est en partie suffisante pour permettre l'excitation de la bobine 42. Dans un tel cas, les ensembles de condensateurs 63 et 64 ne sont presque pas sollicités pour fournir l'énergie d'excitation de la bobine 42.

[0069] Un tel fonctionnement participe à l'optimisation de la consommation électrique de l'appareil 1.

[0070] Les valeurs de capacité Cin et Cout sont donc choisies en fonction de la puissance et de la quantité d'énergie requises pour exciter la bobine 42 du relais 4, et donc pour commuter le relais 4 entre les positions ouverte et fermée.

[0071] De préférence, ces valeurs sont choisies de manière à ce que le deuxième ensemble 64 soit apte à stocker plus d'énergie que le premier ensemble 63 et, de préférence, de manière à ce que le deuxième ensemble 64 stocke au moins 50% de l'énergie d'excitation nécessaire. En d'autres termes, le deuxième ensemble 64 est ici adapté pour stocker plus d'énergie que le premier ensemble 63.

[0072] Dans cet exemple, compte tenu de la valeur d'énergie d'excitation de la bobine 42 du relais 4 ainsi que des valeurs de tensions électriques aux bornes des ensembles 63 et 64, la valeur Cin est ici inférieure ou égale à 1μF et la valeur Cout est inférieure ou égale à 500μF.

[0073] A titre d'exemple illustratif, l'ensemble 63 comporte ici quatre condensateurs identiques, d'une capacité de 220nF chacun. L'ensemble 64 comporte ici, connectés en parallèle, deux condensateurs identiques de 220μF et un condensateur de 10μF.

[0074] Avantagusement, les condensateurs de l'ensemble 63 sont de technologie céramique. Les condensateurs de l'ensemble 64 sont en tantale.

[0075] Les condensateurs en céramique et en tantale présentent un encombrement moins important que des condensateurs de technologie électrolytique. Leur utilisation facilite donc l'intégration physique de l'étage de puissance 6 au sein du boîtier de l'appareil 1, puisqu'elle permet d'occuper moins de place. En outre, leur fiabilité est meilleure que celle des condensateurs électrolytiques. En évitant d'avoir recours à des condensateurs électrolytiques pour des fonctions principales de l'étage de puissance 6, on évite de réduire la fiabilité de l'appareil 1 en-dessous de la fiabilité des contacteurs électromécaniques connus.

[0076] Le convertisseur 65 est configuré pour transformer la deuxième tension continue VDD en une troisième tension continue VCC stabilisée. Cette tension VCC est ici délivrée en sortie entre un troisième rail d'alimentation électrique et la masse 0V_ISO. Cette tension VCC permet d'alimenter électriquement l'étage logique 7. Par exemple, la tension VCC a une amplitude égale à 3,3V.

[0077] Dans cet exemple, le convertisseur 65 est un convertisseur à découpage de type abaisseur Buck, ce qui permet de réduire la dissipation thermique et donc d'améliorer le rendement du convertisseur 6. En variante, il peut s'agir d'un convertisseur linéaire de type LDO, pour « low drop-out regulator » en langue anglaise.

[0078] Dans cet exemple, le convertisseur 65 permet de disposer d'une alimentation électrique stabilisée pour l'étage logique 7. En effet, en pratique, compte tenu des caractéristiques du convertisseur 62, la tension VDD générée par ce dernier n'est pas suffisamment stable pour être directement fournir à l'étage logique 7. Par exemple, la tension VDD

peut présenter des fluctuations d'amplitude pouvant aller jusqu'à plus ou moins 40%. De telles fluctuations ne sont cependant pas préjudiciables à l'excitation de la bobine, dans la mesure où cette excitation est réalisée par l'intermédiaire d'une régulation PWM, comme expliqué dans ce qui précède. Ainsi, l'utilisation du convertisseur 62 n'est pas préjudiciable au bon fonctionnement du relais 4.

[0079] La réserve d'énergie 66 est adaptée pour assurer une alimentation de secours de l'étage logique 7 en cas de disparition de la tension d'alimentation de l'appareil 1, par exemple en cas de défaillance de la source 3.

[0080] Ainsi, la réserve est dimensionnée pour permettre à l'étage logique 7, et notamment au microcontrôleur 71, d'assurer des fonctions d'urgence préprogrammées, pendant une durée de temps limitée, par exemple pour envoyer un message d'alerte, comme expliqué dans ce qui suit. La réserve d'énergie 66 n'est en revanche pas destinée à contenir une énergie suffisante pour assurer un fonctionnement de l'appareil 1 dans un régime de fonctionnement normal.

[0081] Par exemple, la réserve 66 est dimensionnée pour permettre l'envoi d'un message radio après une perte d'alimentation extérieure, ce message radio comprenant quatre trames d'une durée de 1,5 secondes. Dans cet exemple, la réserve 66 permet de stocker au moins 1 Joule d'énergie.

[0082] De préférence, la réserve d'énergie 66 est placée en amont du convertisseur 65 au sein de l'étage 6.

[0083] Cette réserve d'énergie 66 comporte un ou plusieurs condensateurs, dits super-condensateurs, connectés entre le deuxième rail d'alimentation VDD et la masse 0V_ISO.

[0084] Par exemple, la réserve 66 contient deux condensateurs de 220mF chacun connectés en série entre eux.

[0085] La réserve 66 contient avantageusement une résistance, d'au moins 500Ω, connectée en série avec le ou les condensateurs, de manière à limiter la quantité d'énergie consommée par la réserve 66 lors du démarrage de l'étage 6 et également pour limiter le courant de fuite en cas de défaillance d'un des super-condensateurs.

[0086] Les super-condensateurs sont ici de technologie électrolytique, ce qui permet de réduire leur coût. Comme ils ne sont pas destinés à assurer des fonctions liées à la commutation du relais 4, le fait d'utiliser une technologie électrolytique n'est pas préjudiciable à la fiabilité de l'étage de puissance 6.

[0087] La figure 4 représente schématiquement un exemple du circuit d'excitation 72. Le circuit 72 est connecté aux bornes de la bobine 42 pour délivrer un courant électrique d'alimentation lorsqu'il reçoit un ou plusieurs signaux de commande SET, RST envoyés par le microcontrôleur 71 et, en alternance, inhiber l'alimentation de la bobine 42 en l'absence d'un tel signal de commande. Le circuit 72 est connecté au rail d'alimentation VDD de l'étage 6.

[0088] Dans cet exemple, le circuit d'excitation 72 comporte quatre transistors 721, 722, 723 et 724, connectés pour former un pont en H. Ces transistors 721, 722, 723 et 724 sont ici des transistors à effet de champ de technologie MOSFET. En variante, on peut utiliser des transistors bipolaires de type PNP et NPN. Il est également possible d'utiliser un circuit intégré qui intègre un tel pont en H à l'intérieur d'un composant individuel.

[0089] Les transistors 721 et 722 sont des transistors de type p dont le drain est connecté aux bornes opposées de la bobine 42 et dont la source est connectée au rail d'alimentation VDD. Les transistors 723 et 724 sont des transistors de type n dont le drain est connecté aux bornes opposées de la bobine 42 et dont la source est connectée à la masse 0V_ISO. La grille des transistors 721 et 723 est connectée à une sortie de commande RST du microcontrôleur 71, alors que la grille des transistors 722, 724 est connectée à une sortie de commande SET du microcontrôleur 71.

[0090] En variante, le circuit d'excitation 72 peut être réalisé différemment. Par exemple, lorsque le relais 4 comporte deux bobines 42, alors le circuit 72 est adapté pour exciter ces deux bobines 42 simultanément, par exemple au moyen de deux transistors connectés aux bobines et pilotés par les signaux de commande RST et SET.

[0091] Toutefois, l'utilisation d'une seule bobine 42 est préférable, car cela réduit la quantité de courant consommé.

[0092] Comme illustré à la figure 5, l'étage logique 7 comporte le microcontrôleur 71 ainsi que le circuit d'excitation 72.

[0093] L'étage logique 7 comprend en outre ici une interface de communication radio 73, qui est adaptée pour être connectée avec une antenne radio 731. L'antenne radio 731 est ici placée à l'extérieur de l'appareil 1 tout en étant raccordée à l'interface 73 au moyen d'une connexion appropriée, par exemple un câble coaxial et/ou un connecteur radio fréquence, ici un connecteur de type SMA.

[0094] L'interface 73 est connectée au microcontrôleur 71 et est configurée pour permettre au microcontrôleur 71 d'envoyer et de recevoir des messages par radio pour échanger des données avec l'extérieur, par exemple avec un serveur informatique distant. L'interface 73 autorise ainsi une gestion à distance de l'appareil 1, par exemple pour le piloter ou pour en surveiller le fonctionnement.

[0095] L'interface radio 73 est de préférence compatible avec une technologie de communication réseau sans fil à basse puissance, aussi connue sous le nom LPWAN pour « low-power wide area network » en langue anglaise, par exemple pour fonctionner au sein d'un réseau de communication machine-à-machine. A titre d'exemple illustratif, l'interface 73 est compatible avec la technologie LoRaWAN ou, en variante, avec la technologie UNB « ultra-narrow band » de la société SIGFOX®.

[0096] L'interface 73 est ici connectée au rail d'alimentation VCC et à la masse 0V_ISO, ce qui permet d'assurer son alimentation en énergie. Comme expliqué précédemment, l'isolation galvanique assurée par l'étage de puissance 6 permet de placer l'antenne 731 à l'extérieur du boîtier de l'appareil 1 tout en limitant le risque électrique.

[0097] L'étage logique 7 comprend également un circuit de mesure 74 de grandeurs électriques et une mémoire

informatique 75.

[0098] La mémoire 75 est adaptée pour enregistrer des données et forme ainsi un support d'enregistrement d'informations. Par exemple, la mémoire 75 comporte un module de mémoire non volatile, ici de technologie FLASH. La mémoire 75 est connectée au microcontrôleur 71, ce dernier étant apte à écrire et/ou lire des données dans la mémoire 75.

[0099] Le circuit de mesure 74 est adapté pour mesurer des grandeurs électriques telles qu'une tension électrique et/ou un courant électrique et pour générer des signaux représentatifs des grandeurs mesurées à destination du microcontrôleur 71.

[0100] A cet effet, le circuit 74 comporte une sonde 741 de mesure de la tension VDD, pour mesurer en temps réel la tension VDD fournie par le convertisseur 62. Cela permet notamment au microcontrôleur 71 de mettre en œuvre la régulation PWM pour l'excitation de la bobine 42.

[0101] Par exemple, la sonde 741 comporte un pont diviseur de tension intégré au sein de l'étage de puissance 6, comportant plusieurs résistances connectées entre le rail d'alimentation VDD et la masse 0V_ISO. Pour faciliter la lecture de la figure 2, cette sonde n'est pas illustrée sur la figure 2.

[0102] En variante, contrairement à ce qui est illustré, la sonde 741 est indépendante du circuit 74 et est, par exemple, directement connectée au microcontrôleur 71. La sonde 741 ne fait donc pas nécessairement partie du circuit 74 et peut ainsi en être omise.

[0103] Le circuit 74 est également apte à mesurer le courant électrique alternatif et la tension électrique alternative délivrés par la source 3 pour alimenter la charge 2, au niveau des contacts 41. Dans ce qui suit, cette tension et ce courant sont respectivement nommés « tension de charge » et « courant de charge ».

[0104] Le circuit 74 comporte à cet effet une sonde 742 de mesure du courant électrique instantané délivré par la source 3 et une sonde 743 de mesure de la tension d'alimentation alternative délivrée par la source 3. Cela permet de déterminer à chaque instant les valeurs d'amplitude, respectivement, de la tension de charge et du courant de charge.

[0105] Dans cet exemple, l'étage de puissance 6 et la source 2 sont tous deux alimentés par la source 3. Les sondes 742 et 743 sont donc placées au sein de l'étage de puissance 6. Pour simplifier, ils ne sont pas illustrés sur la figure 2.

[0106] Le circuit 74 comporte également un convertisseur analogique-numérique 744, configuré pour transformer les grandeurs électriques mesurées par les sondes 741, 742 et 743 en des signaux logiques destinés au microcontrôleur 71. Comme expliqué précédemment, en variante, la sonde 741 n'est pas nécessairement connectée à ce convertisseur analogique-numérique 744. Alors, de préférence, elle est connectée au microcontrôleur 71 pour utiliser des moyens internes de conversion analogique-numérique fournis par le microcontrôleur 71. En effet, il n'est pas nécessaire d'avoir une aussi grande précision sur le résultat des mesures de la sonde 741 que pour les mesures issues des sondes 742 et 743.

[0107] Par exemple, ce convertisseur 744 est incorporé au microcontrôleur 71 au sein d'un même composant.

[0108] Ainsi, la mesure d'une grandeur électrique par le circuit de mesure 74 comprend ici l'acquisition d'une valeur numérique fournie par le convertisseur analogique-numérique 744 et correspondant à la grandeur électrique analogique mesurée par l'une des sondes 742 ou 743, cette acquisition pouvant être réalisée ponctuellement ou de façon répétée avec une fréquence d'échantillonnage prédéfinie.

[0109] Le microcontrôleur 71 est notamment programmé pour assurer le fonctionnement de l'appareil 1 et notamment pour assurer automatiquement le pilotage du relais 4, par exemple en fonction d'ordres reçus par l'interface 73.

[0110] De préférence, le microcontrôleur 71 est un microcontrôleur à basse consommation.

[0111] Comme illustré à la figure 6, le microcontrôleur comporte ici plusieurs modules fonctionnels, par exemple implémentés chacun au moyen d'instructions exécutables stockées au sein de la mémoire 75 et aptes à être exécutées par le microcontrôleur 71.

[0112] En particulier, le microcontrôleur 71 comprend ici :

- un module 711 de commande de la modulation PWM pour l'excitation de la bobine 42 ;
- un module 712 de gestion de l'alimentation en énergie ;
- un module 713 de calcul du facteur de puissance de la charge 2 ;
- des modules 714 pour détecter le passage à zéro des valeurs de courant et de tension de charge mesurés par les sondes 742 et 743 ;
- un module 715 d'estimation de l'état du relais 4 ;
- un module 716 d'estimation du temps de commutation du relais 4 ; et
- un module, non illustré, de gestion de la commutation du relais 4 en fonction de la nature de la charge 2.

[0113] D'autres modes de réalisation sont cependant possibles. Par exemple, les modules 715, 716 et le module de gestion de la commutation des contacts électriques 41 peuvent être omis et/ou mis en œuvre indépendamment les uns des autres.

[0114] Le microcontrôleur 71 est notamment programmé pour mettre en œuvre la régulation PWM, ici grâce au module 711, lorsqu'une excitation de la bobine 42 du relais 4 doit être déclenchée. Cette régulation est effectuée sur la tension

d'excitation appliquée par le circuit d'excitation 72 aux bornes de la bobine 42. Cette tension d'excitation prend la forme d'un signal de tension modulé, formé d'une succession d'impulsions espacées dans le temps et ayant un niveau d'amplitude prédéfini. En l'absence d'excitation, la tension appliquée est nulle.

[0115] Par exemple, cette régulation est réalisée en fonction de la valeur de tension VDD telle que mesurée ici par la sonde 741. Le rapport cyclique « R » des impulsions du signal modulé est calculé au moyen de la formule suivante :

$$R = \frac{V_{bob_min}}{V_{sense}},$$

où « Vbob_min » désigne la tension minimale requise pour obtenir la commutation du relais 4 et « Vsense » désigne la valeur de tension VDD mesurée.

[0116] Ainsi, le rapport cyclique R augmente lorsque la tension VDD aux bornes de l'ensemble de condensateurs 64 diminue, et diminue lorsque la tension VDD augmente. Cela permet de maintenir à un niveau suffisant l'amplitude des impulsions du courant électrique d'alimentation malgré d'éventuelles fluctuations de la tension VDD.

[0117] Le calcul du rapport cyclique R est répété périodiquement au cours du temps par le microcontrôleur 71.

[0118] De préférence, la mesure et/ou l'échantillonnage de la valeur Vsense est réalisée avec une fréquence réduite, par exemple inférieure ou égale à 5kHz ou, de préférence, inférieure ou égale à 2kHz. Ici, la fréquence est choisie égale à 2kHz.

[0119] Dans le cas présent, compte tenu des valeurs du temps de commutation du relais 4 et de la constante de temps de la bobine 42, la fréquence de 2kHz permet de réaliser une mesure répétée au cours du temps sans avoir à solliciter trop fréquemment cette fonction du microcontrôleur 71, ce qui permet de réduire encore plus la consommation d'énergie de celui-ci.

[0120] Le microcontrôleur 71 est alors programmé pour générer les signaux de commande correspondants RST, SET à destination du circuit 72.

[0121] Lorsque la commutation du relais 4 est effective, l'excitation est arrêtée. Par exemple, elle est arrêtée au bout d'une durée prédéterminée. La régulation PWM est interrompue et la tension d'excitation n'est plus appliquée par le circuit d'excitation 72. Pour ce faire, le microcontrôleur 71 génère des signaux de commande correspondants RST, SET à destination du circuit 72.

[0122] De façon optionnelle, lorsque l'étage de puissance 6 comporte la réserve d'énergie 66, alors le microcontrôleur 71 est en outre programmé pour gérer automatiquement une situation de perte d'alimentation électrique de l'étage de puissance 6, notamment en :

- émettant un signal d'alerte prédéfini au moyen de l'interface de communication 73, et
- interrompant les fonctions du microcontrôleur 71 qui ne sont pas nécessaires pour faire fonctionner l'interface radio 73, telles que la régulation PWM et la commande du circuit d'excitation 72, le convertisseur analogique-numérique 744 et la fonction de réception de données sur l'interface radio 73.

[0123] Par exemple, le signal d'alerte prédéfini est enregistré dans la mémoire 75, de même que sa destination. A titre illustratif, la réserve 66 permet ici d'envoyer 3 à 4 trames d'un message d'alerte prédéfini, par l'intermédiaire de l'antenne 731. La perte d'alimentation est par exemple détectée au moyen des sondes de mesure 741 et 742.

[0124] Indépendamment de cet aspect, le microcontrôleur 71 en outre avantageusement programmé, ici grâce au module 712, pour optimiser la consommation en énergie, notamment en évitant d'exciter la bobine 42 lorsqu'une opération consommatrice d'énergie est en cours de réalisation, par exemple lorsque l'interface de communication 73 envoie un message radio par l'intermédiaire de l'antenne 731. Le microcontrôleur 71 est ici également programmé pour éviter d'exciter la bobine 42 tant que les condensateurs du deuxième ensemble 64 ne sont pas suffisamment rechargés, leur état de charge étant estimé en mesurant la tension VDD au moyen de la sonde 741.

[0125] Par exemple, lorsqu'un ordre de commutation est reçu par l'appareil 1, par exemple sur l'interface de communication 73, le microcontrôleur 71 inhibe temporairement la mise en place de la régulation PWM et de l'activation du circuit d'excitation 72 tant que ladite opération n'est pas terminée. Cette inhibition reste néanmoins suffisamment courte pour ne pas nuire à la fiabilité de la commutation du relais 4. Elle peut également être omise.

[0126] Avantageusement, le microcontrôleur 71 est programmé, ici grâce au module 713, pour calculer le facteur de puissance de la charge 2 lorsque celle-ci est connectée à l'appareil 1. Ce facteur de puissance, noté $\cos \varphi$, est par exemple calculé à partir du déphasage φ entre la tension et le courant de charge mesurés par les sondes de mesure, respectivement, 743 et 742. Le calcul du facteur de puissance est ici réalisé automatiquement au moyen d'une unité de calcul logique du microcontrôleur 71.

[0127] En outre, le microcontrôleur 71 est ici programmé, grâce au module 715, pour détecter automatiquement le passage à zéro du courant de charge et de la tension de charge. Ce calcul est par exemple réalisé au moyen d'une

unité de calcul logique du microcontrôleur 71.

[0128] De façon avantageuse, le microcontrôleur 71 est programmé, ici grâce au module 715, pour estimer l'état des contacts électriques 41 du relais 4, c'est-à-dire pour déterminer si, à un instant donné, les contacts électriques 41 sont dans l'état ouvert ou dans l'état fermé, ou encore pour déterminer un état anormal.

[0129] Cette détermination est ici réalisée au moyen d'une mesure du courant dit de charge qui circule au travers des contacts électriques 41 pour alimenter la charge 2 lorsque celle-ci est connectée à l'appareil 1, par exemple à l'aide de la sonde de mesure 742.

[0130] Ainsi, il n'est pas nécessaire d'utiliser un capteur spécifique dédié au sein du relais 4 ou de l'appareil 1 pour connaître l'état du relais 4. Un tel capteur spécifique n'est pas souhaitable, du fait de son encombrement qui complique donc l'intégration des constituants de l'appareil 1. Cela est d'autant plus utile qu'en pratique, le relais 4 est généralement formé par un composant unitaire encapsulé dans un boîtier et dont les parties mobiles des contacts ne sont pas facilement accessibles depuis l'extérieur.

[0131] Cette fonction de détermination permet ici, lorsque l'appareil 1 est commandé à distance par l'intermédiaire de l'interface de communication 73, de vérifier la bonne exécution d'un ordre de commutation du relais 4 ou, au contraire, de détecter une défaillance du relais 4.

[0132] Un exemple de procédé de fonctionnement de cette détection de l'état des contacts est décrit en référence à l'ordinogramme de la figure 7. Le microcontrôleur 71 est notamment programmé, grâce au module 715, pour mettre en œuvre les étapes de ce procédé.

[0133] Ce procédé est, par exemple, mis en œuvre automatiquement par le microcontrôleur 71 après avoir ordonné la commutation du relais 4 suite à la réception d'un ordre de commande, de préférence immédiatement après.

[0134] D'abord, lors d'une étape 1000, le microcontrôleur 71 acquiert, ou détermine, quel est l'ordre de commutation antérieur précédemment reçu par l'appareil 1, par exemple le dernier ordre de commutation antérieur reçu. Cet ordre peut prendre une valeur « ON » si il avait pour but de commander la fermeture des contacts électriques 41, ou, alternativement, une valeur « OFF » s'il avait pour but de commander l'ouverture des contacts électriques 41.

[0135] Par exemple, chaque ordre reçu par l'interface de communication 73 est enregistré dans la mémoire 75. L'acquisition comporte donc la recherche et la lecture de l'information correspondante, par le microcontrôleur 71, dans la mémoire 75.

[0136] Puis, lors d'une étape 1002, la valeur du courant qui circule est mesurée déterminer un état de circulation du courant électrique vers la charge électrique 2 par l'intermédiaire des contacts 41. Cette mesure est ici réalisée grâce à la sonde de mesure 742 du circuit de mesure 74. Par exemple, le microcontrôleur 71 acquiert une valeur numérique depuis le convertisseur analogique-numérique 744 correspondant à une valeur échantillonnée du signal mesuré par la sonde 742. L'état est passant si une valeur non nulle de courant est mesurée et, au contraire, l'état est non passant si la valeur mesurée est nulle.

[0137] Ensuite, lors d'une étape 1004, l'état du relais 4 est estimé à partir de règles prédéfinies et en fonction de l'état de circulation de courant déterminé et l'ordre précédent acquis. Ces règles définissent un ensemble de scénarios, chacun paramétrés par une valeur d'ordre précédent et par un état de circulation de courant mesuré, passant ou non passant. Ces règles sont par exemple stockées dans la mémoire 75.

[0138] Ainsi, un scénario est retenu en fonction de l'ordre acquis et en fonction de l'état de conduction issu de la valeur mesurée.

[0139] Si le scénario correspond à une situation normale, alors l'état estimé des contacts 41 est par exemple enregistré par le microcontrôleur 71 et/ou transmis par l'interface de communication 73 à destination de l'entité qui a émis l'ordre de commutation.

[0140] Au contraire, si le scénario correspond à une situation d'anomalie, alors le microcontrôleur 71 accomplit une action prédéfinie, par exemple une alarme. En variante, le microcontrôleur 71 peut attendre un délai prédéterminé avant d'envoyer une alarme.

[0141] Par exemple, dans le cas où l'anomalie ne peut pas être imputée avec certitude à une défaillance du relais 4 mais peut vraisemblablement dépendre de causes extérieures au relais 4, comme une perte d'alimentation sur la source 3, ou parce que la charge 2 ne consomme pas de courant à cet instant précis, alors l'alarme n'est pas émise et le microcontrôleur 71 attend pendant un temps prédéfini. Le procédé peut alors être réitéré à ce moment-là pour déterminer l'état du relais 4. Si à cette occasion l'anomalie se répète, alors le microcontrôleur 71 envoie cette fois une alarme.

[0142] Ces scénarios sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Absence de courant	Présence d'un courant
Ordre ON	Anomalie 1	Fermé
Ordre OFF	Ouvert	Anomalie 2

[0143] Par exemple, suite à un ordre d'ouverture « OFF », les contacts 41 doivent être dans l'état ouvert et donc aucun courant ne doit pouvoir y circuler. Si la valeur de courant mesuré correspond à une telle absence de courant, alors les contacts 41 sont considérés comme étant dans l'état ouvert. Une présence d'un courant suite à un tel ordre indique une anomalie. Au contraire, suite à un ordre de fermeture « ON », les contacts 41 doivent être fermés pour autoriser la

circulation d'un courant et c'est alors l'absence d'un courant qui indique une anomalie.

[0144] Dans ce tableau, l'« anomalie 1 » correspond à une première anomalie dans laquelle le courant est absent alors qu'il devrait circuler. Cette anomalie peut être causée soit par une commutation ratée du relais 4, soit par une défaillance de conduction des contacts 41, par exemple à cause de saletés ou d'une usure prématurée, soit par une défaillance de la charge 2 indépendamment de l'état du relais 4.

[0145] L'« anomalie 2 » correspond à une deuxième anomalie dans laquelle un courant circule alors qu'il ne devrait pas. Par exemple, les contacts 41 se sont accidentellement soudés, ou le relais 4 n'a pas commuté, ou les parties mobiles des contacts 41 ont bougé de façon non autorisée, par exemple suite à un choc mécanique.

[0146] De façon avantageuse, le microcontrôleur 71 est programmé, ici grâce au module 716, pour estimer le temps de commutation du relais 4. Ce temps de commutation, noté Δt dans ce qui suit, est défini comme la durée entre le déclenchement de l'excitation, par exemple l'instant où le circuit 72 commence à alimenter la bobine 42, et l'instant où le déplacement des contacts 41 est effectif. Cela permet au microcontrôleur 71 de disposer d'une connaissance fiable et à jour la connaissance de cette valeur. En effet, le temps de commutation du relais 4 peut évoluer au cours du temps suite à l'usure de l'appareil 1.

[0147] Un exemple de procédé de fonctionnement de la détection des contacts est décrit en référence à l'ordinogramme de la figure 8, dont les étapes sont ici mises en œuvre par le microcontrôleur 71 grâce au module 716.

[0148] Les étapes suivantes sont ensuite mises en œuvre lors du fonctionnement de l'appareil 1, par exemple lors de chaque commutation du relais 4. Une autre périodicité peut cependant être choisie en variante.

[0149] Au démarrage du procédé, une valeur de temps de commutation Δt est connue, par exemple enregistrée dans la mémoire 75.

[0150] Il peut s'agir d'une valeur de temps de commutation Δt estimée au moyen d'une itération précédente du procédé. Lors des premières utilisations du procédé, il peut s'agir du temps de commutation Δt est initialement mesuré en usine lors de la construction de l'appareil 1, par exemple au moyen d'un banc de test dédié, ce qui permet d'obtenir une mesure précise. La valeur ainsi mesurée du temps de commutation Δt est enregistrée, par exemple au sein de la mémoire 75.

[0151] D'abord, lors d'une étape 1010, une commutation du relais 4 est commandée. Par exemple, le microcontrôleur 71 commande l'excitation de la bobine 42 suite à la réception d'un ordre de commutation.

[0152] Ensuite, lors d'une étape 1012, le temps Δt_m nécessaire à la commutation du relais 4 est mesuré. Par exemple, le microcontrôleur 71 comptabilise le temps qui s'écoule à partir du moment où, lors de l'étape 1010, l'excitation de la bobine 42 est commandée, jusqu'à la commutation effective du relais 4. Cette commutation est par exemple détectée en mesurant l'évolution du courant électrique et/ou de la tension de charge, par exemple au moyen des sondes de mesure 742 et/ou 743 du circuit 74. La comptabilisation du temps est avantageusement réalisée au moyen d'une horloge numérique intégrée au microcontrôleur 71. Le temps ainsi comptabilisé peut avantageusement être corrigé par un facteur prédéterminé pour tenir compte du temps de calcul requis par le microprocesseur 71 pour traiter les signaux provenant du circuit 74.

[0153] Puis, lors d'une étape 1014, le temps Δt_m ainsi mesuré est comparé avec la valeur de temps de commutation Δt connu. Par exemple, le microcontrôleur 71 lit la valeur du temps de commutation Δt connu dans la mémoire 75 et la compare avec la valeur du délai mesurée à l'issue de l'étape 1012.

[0154] Si le temps Δt_m mesuré est égal au temps de commutation connu, par exemple à une marge d'erreur prédéfinie près, alors lors d'une étape 1016, le temps de commutation Δt est considéré comme n'ayant pas évolué. La valeur de temps de commutation Δt connue reste inchangée.

[0155] Au contraire, si le temps Δt_m mesuré est différent du temps de commutation connu, par exemple à une marge d'erreur prédéfinie près, alors le temps de commutation est considéré comme ayant évolué depuis la dernière commutation du relais 4.

[0156] Dans ce cas, lors d'une étape 1018, la valeur de temps de commutation Δt connue est mise à jour en tenant compte du temps Δt_m mesuré. Par exemple, la valeur de temps de commutation Δt connue est remplacée par la valeur de temps Δt_m mesuré.

[0157] En variante, une nouvelle valeur de temps de commutation Δt est calculée en moyennant la valeur du temps Δt_m mesuré avec une ou plusieurs des anciennes valeurs de temps de commutation successivement mises à jour lors de précédentes itérations du procédé.

[0158] Cette mise à jour est réalisée par le microcontrôleur 71, par exemple en écrivant une nouvelle valeur dans la mémoire 75, cette valeur étant désormais considérée comme étant la valeur de temps de commutation connu.

[0159] Dans cet exemple, le temps de commutation Δt est considéré être le même pour la fermeture et l'ouverture des contacts 41. Toutefois, en variante, le temps de commutation peut être différent à l'ouverture et à la fermeture. Alors

le procédé ainsi décrit peut être mis en œuvre de façon analogue pour estimer chacun de ces deux temps de commutation distincts.

[0160] De façon avantageuse, le microcontrôleur 71 est en outre programmé, ici grâce au module de gestion de la commutation, pour optimiser la commutation des contacts électriques 41 du relais 4 en fonction de la nature de la charge électrique 2 connectée à l'appareil 1. Plus précisément, le microcontrôleur 71 est programmé pour, lorsqu'un ordre de commutation est reçu, synchroniser la commutation du relais 4 avec des conditions de condition favorables spécifiquement choisies en fonction de la nature de la charge 2, telles qu'un passage à zéro du courant et/ou de la tension de charge.

[0161] En pratique, l'appareil 1 est destiné à être utilisé avec des charges électriques de nature différente, et il n'est pas possible à l'avance de connaître à l'avance, lors de la fabrication de l'appareil 1, quel type de charge sera utilisée. Or, chaque type de charge, selon qu'elle est résistive, capacitive ou inductive, fait courir un risque particulier lors de la commutation du relais 4. Des commutations répétées dans des conditions défavorables conduisent à un endommagement des contacts électriques 41, ce qui réduit la durée de vie de l'appareil 1.

[0162] Par exemple, avec une charge de nature capacitive, telle qu'un ensemble d'éclairage à tubes fluorescents ou à diodes à émission lumineuse, il est fréquent d'obtenir un pic de courant élevé lors de la fermeture du relais, faisant courir un risque de soudure accidentelle des contacts. Au contraire, avec une charge de nature inductive, telle qu'un moteur électrique, il apparaît souvent un arc électrique entre les contacts électriques lors de l'ouverture, ce qui peut compromettre l'efficacité de l'appareil 1.

[0163] A titre d'exemple illustratif, pour une charge électrique 2 comprenant un ensemble de cinquante tubes d'éclairage fluorescents d'une puissance nominale de 35W chacun, ayant une puissance apparente totale de 2kVA, un courant efficace total de 9A, un courant crête de 13A en régime permanent, une inductance de ligne de 150 μ H et une capacité totale de 175 μ F, alors le courant de crête maximal lors de la mise sous tension de la charge 2 au moment de la fermeture des contacts 41 peut atteindre la valeur de 350A, soit plus de vingt-sept fois la valeur du courant crête en régime de fonctionnement permanent.

[0164] Le procédé d'optimisation de la commutation du relais 4 vise donc à remédier à ces inconvénients, dans le but d'éviter une usure prématurée des contacts électriques 41.

[0165] Un exemple de procédé de fonctionnement de ce procédé d'optimisation de la commutation est décrit en référence à l'ordinogramme de la figure 9 et à l'aide du chronogramme de la figure 10.

[0166] D'abord, lors d'une étape 1030, le type de charge 2 est identifié automatiquement. Par exemple, le microcontrôleur 71 détermine automatiquement le déphasage φ entre la tension et le courant aux bornes de la charge 2 ainsi que le facteur de puissance $\cos \varphi$ associé à la charge 2, à partir de mesures du courant et de la tension électrique aux bornes de la charge 2. Cette détermination est ici réalisée au moyen du module 713 et du circuit de mesure 74.

[0167] Le type de charge 2 est identifié parmi une liste prédéfinie en fonction du facteur de puissance $\cos \varphi$ et du déphasage. Ici, la charge 2 peut être de l'un des types suivants : résistif, capacitif ou inductif.

[0168] Par exemple, la charge 2 est résistive si le facteur de puissance $\cos \varphi$ est égal à 1. La charge 2 est capacitive si le facteur de puissance $\cos \varphi$ est inférieur à 1 et le déphasage est positif, et est inductive si le facteur de puissance $\cos \varphi$ est inférieur à 1 et le déphasage est négatif.

[0169] En variante, l'identification peut se baser sur une valeur de facteur de puissance déjà connue, par exemple une valeur précédemment calculée et stockée dans la mémoire 75 lors d'une itération précédente du procédé, ou encore une valeur par défaut réglée en usine, notamment lors de la première mise en marche de l'appareil 1.

[0170] Ensuite, lors d'une étape 1032, une stratégie de synchronisation de la commutation est automatiquement choisie en fonction du type de charge identifié. Ce choix est réalisé en fonction de règles prédéfinies, par exemple enregistrées dans la mémoire 75.

[0171] Par exemple, le choix d'une stratégie de synchronisation comporte la sélection de grandeurs électriques pertinentes mesurables aux bornes d'alimentation de la charge 2, donc ici au niveau des contacts 41, dont l'évolution temporelle doit faire l'objet d'une surveillance. La synchronisation de la commutation est réalisée en fonction de ces grandeurs électriques.

[0172] Par exemple, ces grandeurs électriques sont choisies parmi l'ensemble formé du courant de charge, de la tension de charge, de la puissance instantanée aux bornes d'alimentation de la charge 2, voire les harmoniques de cette tension et/ou de ce courant et/ou de cette puissance.

[0173] Le choix d'une stratégie de synchronisation comprend également la détermination d'un seuil de commutation pour chaque grandeur électrique pertinente choisie et pour chaque sens de commutation, i.e. ouverture ou fermeture. Ce seuil de commutation correspond à la valeur de cette grandeur pour laquelle la commutation du relais 4 doit être déclenchée pour commander une commutation conforme à la stratégie. En pratique, ici, il est souhaitable de commander la commutation pour qu'elle survienne lors du passage à zéro de la grandeur pertinente.

[0174] Par exemple, pour une charge résistive, les grandeurs électriques pertinentes sont la tension et le courant de charge. Pour favoriser une commutation optimale, la stratégie de commutation consiste à attendre le passage à zéro de la tension pour fermer les contacts 41 et à attendre le passage à zéro du courant pour ouvrir les contacts 41.

[0175] Selon un autre exemple, pour une charge capacitive, la grandeur électrique pertinente est la tension de charge.

Pour favoriser une commutation optimale, la stratégie de commutation consiste à attendre le passage à zéro de la tension pour ouvrir ou pour fermer les contacts 41.

[0176] Selon encore un autre exemple, pour une charge inductive, la grandeur électrique pertinente est le courant de charge. Pour favoriser une commutation optimale, la stratégie de commutation consiste à attendre le passage à zéro du courant pour ouvrir ou pour fermer les contacts 41.

[0177] Ainsi, en première approche, le seuil de commutation peut être choisi égal à zéro.

[0178] Avantagusement, les seuils de commutation peuvent être différents, pour tenir compte du temps de commutation Δt du relais 4. En pratique, pour que la commutation ait lieu lors du passage à zéro d'une grandeur électrique, la commutation doit être commandée avec une avance par rapport à l'instant où a lieu ce passage à zéro, cette avance étant égale au temps de commutation Δt .

[0179] Par exemple, le seuil de commutation correspond alors à la valeur théorique prise par cette grandeur électrique pertinente à l'instant anticipant le passage à zéro avec une durée égale au temps de commutation Δt . Cette valeur théorique peut être prédite, ici de façon automatique par le microcontrôleur 71, par exemple par interpolation ou en connaissant la forme du signal périodique pris par la grandeur électrique pertinente en fonction du temps.

[0180] En variante, lorsque l'évolution temporelle de la grandeur électrique est connue, par exemple dans le cas d'un signal périodique de période T connue, alors le seuil de commutation peut aussi être choisi égal à zéro. Puis, la commutation est déclenchée au bout d'une durée égale à la différence entre la période T et le temps de commutation Δt .

[0181] En pratique, toutefois, une stratégie par défaut peut être mise en place si le type de charge ne peut pas être identifié de façon certaine. Dans ce cas, par défaut, la commutation est réalisée de préférence lors du passage à zéro de la tension. La grandeur électrique pertinente est donc la tension.

[0182] Ensuite, lors d'une étape 1034, le microcontrôleur 71 attend la réception d'un ordre de commutation.

[0183] Puis, dès réception d'un ordre de commutation, par exemple reçu sur l'interface de communication 73, alors, lors d'une étape 1036, la stratégie de pilotage choisie est mise en œuvre pour identifier une condition de commutation. Cette mise en œuvre comportant la mesure d'une ou des grandeurs électriques pour détecter une condition de commutation correspondant à la stratégie de synchronisation choisie

Par exemple, chaque grandeur électrique choisie est mesurée, ici grâce au circuit de mesure 74. Chaque valeur ainsi mesurée est comparée automatiquement, par le microcontrôleur 71, au seuil de commutation choisi lors de l'étape 1032 pour l'ordre correspondant.

[0184] Dès qu'une condition de commutation correspondant à cette stratégie de commutation est identifiée, alors, lors d'une étape 1038, la commutation du relais 4 est déclenchée par le microcontrôleur 71. Le déclenchement de la commutation du relais étant inhibé, au moins temporairement, tant qu'une condition de commutation correspondant à cette stratégie de commutation n'est pas identifiée.

[0185] Par exemple, le microcontrôleur 71 déclenche la commutation en pilotant le circuit d'excitation 72 uniquement lorsqu'il a détecté que la valeur mesurée a atteint le seuil de commutation. Ce déclenchement peut, selon la stratégie de commutation choisie, survenir immédiatement ou après l'expiration d'une durée délai prédéfini, comme expliqué précédemment.

[0186] Toutefois, si aucune condition de commutation n'a été détectée à l'expiration d'un délai de sécurité prédéfini, alors la commutation du relais 4 est automatiquement déclenchée au bout de ce délai de sécurité. En effet, il est primordial que l'appareil 1 exécute l'ordre de commutation qui lui a été transmis, même si la commutation ne survient alors pas à un instant optimal.

[0187] A l'étape 1040, la commutation du relais 4 est achevée et effective, suite à la commande de commutation de l'étape 1038.

[0188] Dans cet exemple, le procédé retourne ici à l'étape 1034 dans l'attente d'un nouvel ordre de commutation. Par exemple, le procédé est réitéré en boucle jusqu'à l'extinction de l'appareil 1.

[0189] Toutefois, si la commutation du relais 4 n'est pas effective, alors le procédé est interrompu et l'étape 1034 est de nouveau appliquée.

[0190] Optionnellement, les étapes 1000 à 1004 du procédé de la figure 6 sont avantagusement mises en œuvre suite à l'étape 1038, pour estimer l'état des contacts 41, notamment pour vérifier si la commutation du relais 4 a bien eu lieu conformément à la commande envoyée.

[0191] La figure 10 illustre un exemple d'application du procédé d'optimisation de la commutation de la figure 9 lorsqu'une charge 2 est connectée. La charge 2 est ici connue et la stratégie de commutation pour la fermeture des contacts consiste à attendre le passage à zéro de la tension sur un front descendant.

[0192] Le graphe 1100 illustre l'évolution, en fonction du temps t, de l'amplitude V de la tension électrique 1102 servant à alimenter la charge 2. Pour simplifier, dans cet exemple, la tension 1102 est périodique de période T et de forme sinusoïdale.

[0193] On note « t1 » et « t2 » les instants pour lesquels la tension 1102 passe par zéro sur un front montant, et on note « t1' » et « t2' » les instants pour lesquels la tension 1102 passe par zéro sur un front descendant.

[0194] Le graphe 1104 illustre l'évolution, en fonction du temps t, d'une courbe 1106 représentant l'état de réception

d'un ordre de commutation du relais 4 par l'appareil 1. Sur l'axe des ordonnées, la valeur « 0 » indique un absence d'ordre de commutation et la valeur « 1 » indique qu'un ordre de commutation est reçu.

[0195] Le graphe 1108 illustre l'évolution, en fonction du temps t , d'une courbe 1110 représentant l'état d'activation d'un compteur qui décompte une durée prédéfini à partir de l'instant du passage à zéro de la tension 1102 suivant l'instant t_0 . Sur l'axe des ordonnées, la valeur « 0 » indique un état inactif du compteur et la valeur « 1 » indique l'activation du compteur.

[0196] Le graphe 1112 illustre l'évolution, en fonction du temps t , d'une courbe 1114 représentant l'état d'excitation de la bobine 42. Sur l'axe des ordonnées, la valeur « 1 » indique que le circuit d'excitation 72 est activé et alimente la bobine 42 et la valeur « 0 » indique l'absence d'alimentation de la bobine 42.

[0197] Enfin, le graphe 1116 illustre l'évolution, en fonction du temps t , d'un signal 1118 représentant l'état des contacts 41 du relais 4. Sur l'axe des ordonnées, la valeur « 0 » indique que les contacts 41 sont dans l'état ouvert et la valeur « 1 » indique que les contacts 41 sont dans l'état fermé.

[0198] Initialement, aucun ordre de commutation n'est reçu. Le procédé se trouve à l'étape 1030 précédemment décrite. Puis, à un instant noté « t_0 », ici compris entre les instants « t_1 » et « t_1' », un ordre de commutation est reçu par l'appareil 1. L'étape 1036 est alors mise en œuvre. Lorsqu'un premier passage par zéro de la tension 1102 sur un front descendant est détecté à l'instant t_1' , le compteur est mis en marche et décompte une durée prédéfinie, jusqu'à un instant t_3 . Cette durée est ici égale à la différence entre la période T et le temps de commutation Δt à la fermeture. Cela permet d'anticiper le passage à zéro suivant sur front descendant, à l'instant t_2' , en tenant compte du temps de commutation Δt . Ainsi, à l'instant t_3 , la bobine 42 est commandée par le circuit d'excitation 72 en vue de fermer les contacts 41, comme illustré par la courbe 1114. Ensuite, au bout d'un délai égal au temps de commutation Δt , la fermeture des contacts 41 est effective, comme illustré par la courbe 1118.

[0199] Les procédés des figures 7, 8 et 9 peuvent être mis en œuvre indépendamment des modes de réalisation de l'étage de puissance 6.

Revendications

1. Appareil (1) commandable de coupure d'un courant électrique, cet appareil (1) de coupure étant adapté pour être connecté entre une charge électrique (2) et une source (3) d'alimentation électrique, de manière à sélectivement autoriser ou inhiber l'alimentation électrique de la charge électrique (2) par la source (3) d'alimentation, l'appareil (1) de coupure comportant :

- un relais (4) bistable comprenant des contacts électriques (41) séparables et une bobine (42) d'excitation pour commander la commutation des contacts électriques (41), ces contacts électriques (41) étant adaptés pour raccorder la charge électrique (2) à la source (3) d'alimentation, le relais (4) étant adapté pour commuter les contacts électriques (41) entre des états ouvert et fermé lorsque la bobine (42) reçoit une quantité d'énergie supérieure à un seuil d'énergie d'excitation prédéfini avec une puissance électrique supérieure à un seuil de puissance prédéfini ;

- un circuit de commande (5) comprenant un étage de puissance (6) et un étage logique (7), l'étage de puissance (6) étant adapté pour fournir une alimentation électrique à l'étage logique (7), l'étage logique (7) comprenant un circuit d'excitation (72) pour alimenter la bobine (42) et un microcontrôleur (71) programmable qui pilote le circuit d'excitation (72) pour déclencher la commutation du relais (4),

l'étage de puissance (6) comprenant un convertisseur de puissance (62), un premier ensemble de condensateurs (63) connecté en entrée du convertisseur de puissance (62) et un deuxième ensemble de condensateurs (64) connecté en sortie du convertisseur de puissance (62),

l'appareil (1) de coupure étant **caractérisé en ce que** la puissance nominale du convertisseur de puissance (62) est strictement inférieure au seuil de puissance d'excitation de la bobine (42),

et en ce que les premier et deuxième ensembles de condensateurs (63, 64) sont adaptés pour stocker une quantité d'énergie supérieure ou égale à 50% du seuil d'énergie d'excitation requis pour commuter le relais (4).

2. Appareil selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le convertisseur de puissance (62) est un convertisseur Flyback comprenant un transformateur de tension (621), le premier ensemble de condensateurs (63) étant connecté à un enroulement primaire (622) du transformateur (621), le deuxième ensemble de condensateurs (64) étant connecté à un enroulement secondaire (624) du transformateur (621).

3. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le deuxième ensemble de condensateurs (64) est adapté pour stocker au moins 50% de l'énergie d'excitation nécessaire pour

commuter le relais (4).

4. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les condensateurs du premier ensemble (63) sont en céramique et **en ce que** les condensateurs du deuxième ensemble (64) sont en tantale.

5. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étage de puissance (6) comporte un convertisseur de puissance additionnel (65) adapté pour fournir une tension électrique continue stabilisée (VCC) pour alimenter électriquement au moins une partie de l'étage logique (7).

6. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le micro-contrôleur (71) est programmé pour piloter le circuit d'excitation (72) selon une technique de modulation de largeur d'impulsions, le circuit d'excitation (72) étant adapté pour alimenter la bobine (42) avec une tension d'alimentation modulée.

7. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le micro-contrôleur (71) est programmé pour mettre en œuvre, après avoir ordonné la commutation du relais (4) suite à la réception d'un ordre de commande, des étapes, :

- de détermination (1000) d'un ordre de commutation antérieur précédemment reçu,
- de détermination (1002) d'un état de circulation du courant électrique vers la charge électrique (2) par l'intermédiaire des contacts électriques (41) du relais (4), cet état pouvant indiquer l'absence ou la présence d'un courant,
- d'estimation (1004) d'un état du relais (4) à partir de règles prédéfinies et en fonction de l'état de circulation de courant déterminé et de l'ordre de commutation antérieur.

8. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le micro-contrôleur (71) est programmé pour mettre en œuvre, après avoir ordonné la commutation du relais (4) suite à la réception d'un ordre de commande, des étapes :

- de mesure (1012) du temps (Δt_m) nécessaire à la commutation du relais (4) ;
- de comparaison (1014) du temps (Δt_m) mesuré avec une valeur de temps de commutation (Δt) du relais (4) connue, pour déterminer si le temps (Δt_m) mesuré est différent de la valeur de temps de commutation (Δt) connue,
- de mise à jour (1018) de la valeur de temps de commutation (Δt) connue, à partir de la valeur du temps (Δt_m) mesuré, uniquement si le temps (Δt_m) mesuré est déterminé comme étant différent de la valeur de temps de commutation (Δt) connue.

9. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le micro-contrôleur (71) est programmé pour mettre en œuvre des étapes :

- d'identification (1030) du type de la charge électrique (2) ;
- de choix (1032) d'une stratégie de synchronisation de la commutation en fonction du type de charge identifié ;
- suite à la réception d'un ordre de commutation, de mise en œuvre (1036) de la stratégie de synchronisation choisie, cette mise en œuvre comportant la mesure d'au moins une grandeur électrique entre des bornes d'alimentation de la charge électrique (2) pour détecter une condition de commutation correspondant à la stratégie de synchronisation choisie ;
- de déclenchement (1038) de la commutation du relais (4) lorsqu'une condition de commutation correspondant à cette stratégie de commutation est identifiée à partir de la au moins une grandeur électrique mesurée, le déclenchement de la commutation du relais étant inhibé, au moins temporairement, tant qu'une condition de commutation correspondant à cette stratégie de commutation n'est pas identifiée.

10. Appareil (1) de coupure selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étage logique (7) comprend une interface de communication radio (73) adapté pour être connectée avec une antenne radio (731), ladite antenne radio (731) étant placée à l'extérieur d'un boîtier de l'appareil (1) et raccordée à l'interface (73).

11. Ensemble électrique comprenant une charge électrique (2), une source (3) d'alimentation électrique apte à délivrer

une tension électrique d'alimentation, et un appareil (1) de coupure d'un courant électrique, l'appareil (1) de coupure étant raccordé entre la charge électrique (2) et la source (3) d'alimentation électrique et comprenant à cet effet un relais (4) commandable dont des contacts électriques séparables (41) raccordent sélectivement les bornes d'alimentation de la charge électrique (2) à la source (3) ou, en alternance, les isolent électriquement de la source (3), l'ensemble électrique étant **caractérisé en ce que** l'appareil (1) de coupure est selon l'une quelconque des revendications précédentes.

Patentansprüche

1. Steuerbare Vorrichtung (1) zur Unterbrechung eines elektrischen Stroms, wobei diese Unterbrechungsvorrichtung (1) dafür eingerichtet ist, zwischen eine elektrische Last (2) und eine Stromversorgungsquelle (3) geschaltet zu werden, um die Stromversorgung der elektrischen Last (2) durch die Versorgungsquelle (3) selektiv zu erlauben oder zu unterdrücken, wobei die Unterbrechungsvorrichtung (1) Folgendes beinhaltet:

- ein bistabiles Relais (4), das trennbare elektrische Kontakte (41) und eine Anregungsspule (42) zum Steuern der Umschaltung der elektrischen Kontakte (41) umfasst, wobei diese elektrischen Kontakte (41) dafür eingerichtet sind, die elektrische Last (2) mit der Versorgungsquelle (3) zu verbinden, wobei das Relais (4) dafür eingerichtet ist, die elektrischen Kontakte (41) zwischen einem offenen und einem geschlossenen Zustand umzuschalten, wenn die Spule (42) eine Energiemenge über einem vordefinierten Schwellenwert für die Anregungsenergie mit einer elektrischen Leistung über einem vordefinierten Leistungsschwellenwert erhält;

- eine Steuerschaltung (5), die eine Leistungsstufe (6) und eine Logikstufe (7) umfasst, wobei die Leistungsstufe (6) dafür eingerichtet ist, eine Stromversorgung für die Logikstufe (7) bereitzustellen, wobei die Logikstufe (7) eine Anregungsschaltung (72) zum Versorgen der Spule (42) und einen programmierbaren Mikrocontroller (71) umfasst, der die Anregungsschaltung (72) steuert, um die Umschaltung des Relais (4) auszulösen, wobei die Leistungsstufe (6) einen Leistungswandler (62), eine erste Kondensatoranordnung (63), die mit dem Eingang des Leistungswandlers (62) verbunden ist, und eine zweite Kondensatoranordnung (64), die mit dem Ausgang des Leistungswandlers (62) verbunden ist, umfasst,

wobei die Unterbrechungsvorrichtung (1) **dadurch gekennzeichnet ist,**

dass die Nennleistung des Leistungswandlers (62) strikt unter dem Schwellenwert für die Anregungsleistung der Spule (42) liegt,

und **dass** die erste und die zweite Kondensatoranordnung (63, 64) dafür eingerichtet sind, eine Menge an Energie zu speichern, die größer als oder gleich 50 % des Schwellenwerts für die Anregungsenergie ist, die zum Umschalten des Relais (4) erforderlich ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leistungswandler (62) ein Sperrwandler ist, der einen Spannungstransformator (621) umfasst, wobei die erste Kondensatoranordnung (63) mit einer Primärwicklung (622) des Transformators (621) verbunden ist und die zweite Kondensatoranordnung (64) mit einer Sekundärwicklung (624) des Transformators (621) verbunden ist.

3. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Kondensatoranordnung (64) dafür eingerichtet ist, wenigstens 50 % der Anregungsenergie zu speichern, die zum Umschalten des Relais (4) notwendig ist.

4. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kondensatoren der ersten Anordnung (63) aus Keramik sind und dass die Kondensatoren der zweiten Anordnung (64) aus Tantal sind.

5. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leistungsstufe (6) einen zusätzlichen Leistungswandler (65) beinhaltet, der dafür eingerichtet ist, eine stabilisierte elektrische Gleichspannung (VCC) bereitzustellen, um wenigstens einen Teil der Logikstufe (7) mit Strom zu versorgen.

6. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikrocontroller (71) dafür programmiert ist, die Anregungsschaltung (72) gemäß einer Technik der Impulsbreiten-

modulation zu steuern, wobei die Anregungsschaltung (72) dafür eingerichtet ist, die Spule (42) mit einer modulierten Versorgungsspannung zu versorgen.

7. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikrocontroller (71) dafür programmiert ist, nach dem Befehlen der Umschaltung des Relais (4) infolge des Empfangs eines Steuerbefehls die folgenden Schritte auszuführen:

- Bestimmen (1000) eines vorher empfangenen früheren Umschaltbefehls,
- Bestimmen (1002) eines Zustands des Fließens des elektrischen Stroms zu der elektrischen Last (2) über die elektrischen Kontakte (41) des Relais (4), wobei dieser Zustand die Abwesenheit oder das Vorhandensein eines Stroms anzeigen kann,
- Schätzen (1004) eines Zustands des Relais (4) auf Basis von vordefinierten Regeln und in Abhängigkeit von dem bestimmten Stromflusszustand und von dem früheren Umschaltbefehl.

8. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikrocontroller (71) dafür programmiert ist, nach dem Befehlen der Umschaltung des Relais (4) infolge des Empfangs eines Steuerbefehls die folgenden Schritte auszuführen:

- Messen (1012) der Zeit (Δt_m), die zum Umschalten des Relais (4) notwendig ist;
- Vergleichen (1014) der gemessenen Zeit (Δt_m) mit einem bekannten Umschaltzeitwert (Δt) für das Relais (4), um zu bestimmen, ob sich die gemessene Zeit (Δt_m) von dem bekannten Umschaltzeitwert (Δt) unterscheidet,
- Aktualisieren (1018) des bekannten Umschaltzeitwerts (Δt) auf Basis des Werts der gemessenen Zeit (Δt_m) nur dann, wenn bestimmt wird, dass sich die gemessene Zeit (Δt_m) von dem bekannten Umschaltzeitwert (Δt) unterscheidet.

9. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mikrocontroller (71) dafür programmiert ist, die folgenden Schritte auszuführen:

- Identifizieren (1030) des Typs der elektrischen Last (2);
- Auswählen (1032) einer Strategie zur Synchronisierung der Umschaltung in Abhängigkeit von dem identifizierten Lasttyp;
- nach dem Empfang eines Umschaltbefehls Ausführen (1036) der gewählten Synchronisierungsstrategie, wobei dieses Ausführen das Messen von wenigstens einer elektrischen Größe zwischen Versorgungsanschlüssen der elektrischen Last (2) beinhaltet, um einen Umschaltzustand zu detektieren, welcher der gewählten Synchronisierungsstrategie entspricht;
- Auslösen (1038) der Umschaltung des Relais (4), wenn ein dieser Umschaltstrategie entsprechender Umschaltzustand auf Basis der wenigstens einen gemessenen elektrischen Größe identifiziert wird, wobei die Auslösung der Umschaltung des Relais wenigstens vorläufig unterdrückt wird, solange kein dieser Umschaltstrategie entsprechender Umschaltzustand identifiziert wird.

10. Unterbrechungsvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Logikstufe (7) eine Funkkommunikationsschnittstelle (73) umfasst, die dafür eingerichtet ist, mit einer Funkantenne (731) verbunden zu werden, wobei die Funkantenne (731) außerhalb eines Gehäuses der Vorrichtung (1) angeordnet ist und mit der Schnittstelle (73) verbunden ist.

11. Elektrische Anordnung, umfassend eine elektrische Last (2), eine Stromversorgungsquelle (3), die imstande ist, eine elektrische Versorgungsspannung zu liefern, und eine Vorrichtung (1) zum Unterbrechen eines elektrischen Stroms, wobei die Unterbrechungsvorrichtung (1) zwischen die elektrische Last (2) und die Stromversorgungsquelle (3) geschaltet ist und zu diesem Zweck ein steuerbares Relais (4) umfasst, dessen trennbare elektrische Kontakte (41) die Versorgungsanschlüsse der elektrischen Last (2) selektiv mit der Quelle (3) verbinden oder sie abwechselnd von der Quelle (3) isolieren, wobei die elektrische Anordnung **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die Unterbrechungsvorrichtung (1) einem der vorhergehenden Ansprüche entspricht.

Claims

1. Commandable device (1) for interrupting an electric current, the interrupting device (1) being adapted to be connected

between an electrical load (2) and a power source (3) so as to selectively authorise or inhibit the supply of power to the electrical load (2) by the power source (3), the interrupting device (1) comprising:

- a bistable relay (4) comprising separable electrical contacts (41) and an excitation coil (42) for controlling the switching of the electrical contacts (41), the electrical contacts (41) being adapted to connect the electrical load (2) to the power source (3), the relays (4) being adapted to switch the electrical contacts (41) between open and closed states when the coil (42) receives an amount of energy greater than a predefined excitation energy threshold with an electric power greater than a predefined power threshold;
- a control circuit (5) comprising a power stage (6) and a logic stage (7), the power stage (6) being adapted to provide power to the logic stage (7), the logic stage (7) comprising an excitation circuit (72) for supplying the coil (42) and a programmable microcontroller (71) which controls the excitation circuit (72) in order to initiate the switching of the relay (4),

the power stage (6) comprising a power converter (62), a first set of capacitors (63) connected at the input of the power converter (62) and a second set of capacitors (64) connected at the output of the power converter (62),

the interrupting device (1) being **characterised in that** the nominal power of the power converter (62) is strictly below the excitation power threshold of the coil (42),

and **in that** the first and second sets of capacitors (63, 64) are adapted to store an amount of energy greater than or equal to 50% of the excitation energy threshold required to switch the relay (4).

2. Device according to claim 1, **characterised in that** the power converter (62) is a flyback converter comprising a voltage transformer (621), the first set of capacitors (63) being connected to a primary winding (622) of the transformer (621), the second set of capacitors (64) being connected to a secondary winding (624) of the transformer (621).

3. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the second set of capacitors (64) is adapted to store at least 50% of the excitation energy necessary to switch the relay (4).

4. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the capacitors of the first set (63) are made of ceramics, and **in that** the capacitors of the second set (64) are made of tantalum.

5. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the power stage (6) comprises an additional power converter (65) adapted to provide a stabilised DC voltage (VCC) for supplying power to at least part of the logic stage (7).

6. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microcontroller (71) is programmed to control the excitation circuit (72) according to a pulse width modulation technique, the excitation circuit (72) being adapted to supply the coil (42) with a modulated supply voltage.

7. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microcontroller (71) is programmed to carry out, after ordering the switching of the relay (4) following receipt of a control command, steps:

- of determining (1000) a previously received prior switching command,
- of determining (1002) a state of flow of the electric current towards the electrical load (2) by way of the electrical contacts (41) of the relay (4), this state being able to indicate the absence or presence of a current,
- of estimating (1004) a state of the relay (4) on the basis of predefined rules and as a function of the determined state of flow of current and the prior switching command.

8. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microcontroller (71) is programmed to carry out, after ordering the switching of the relay (4) following receipt of a control command, steps:

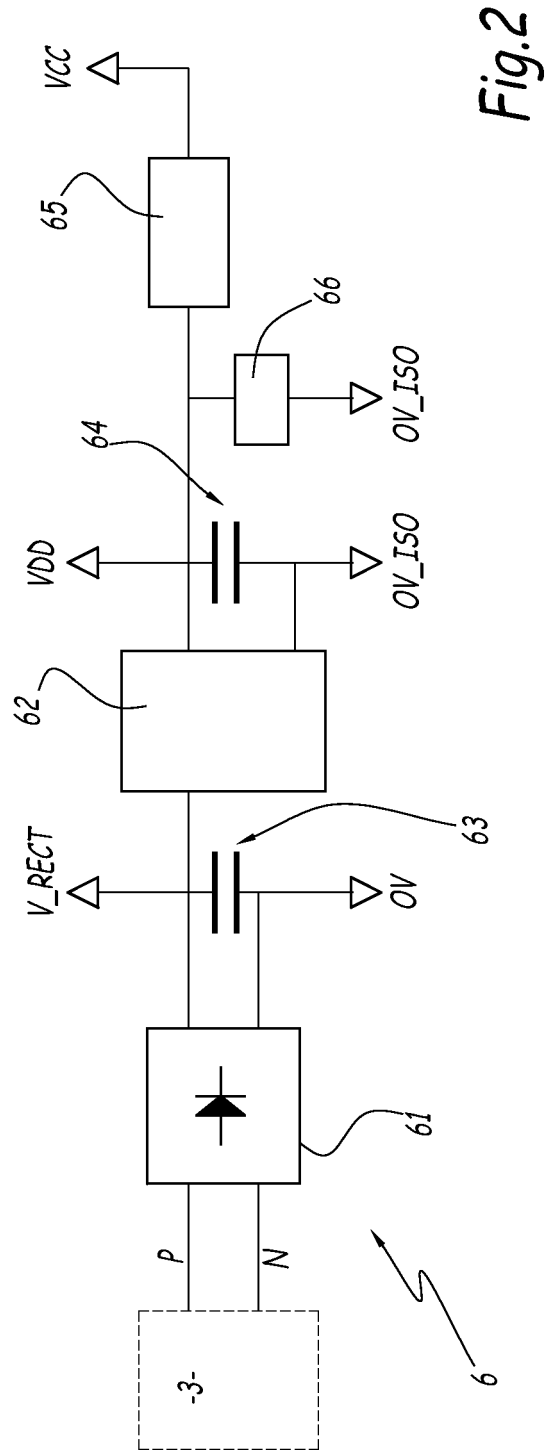
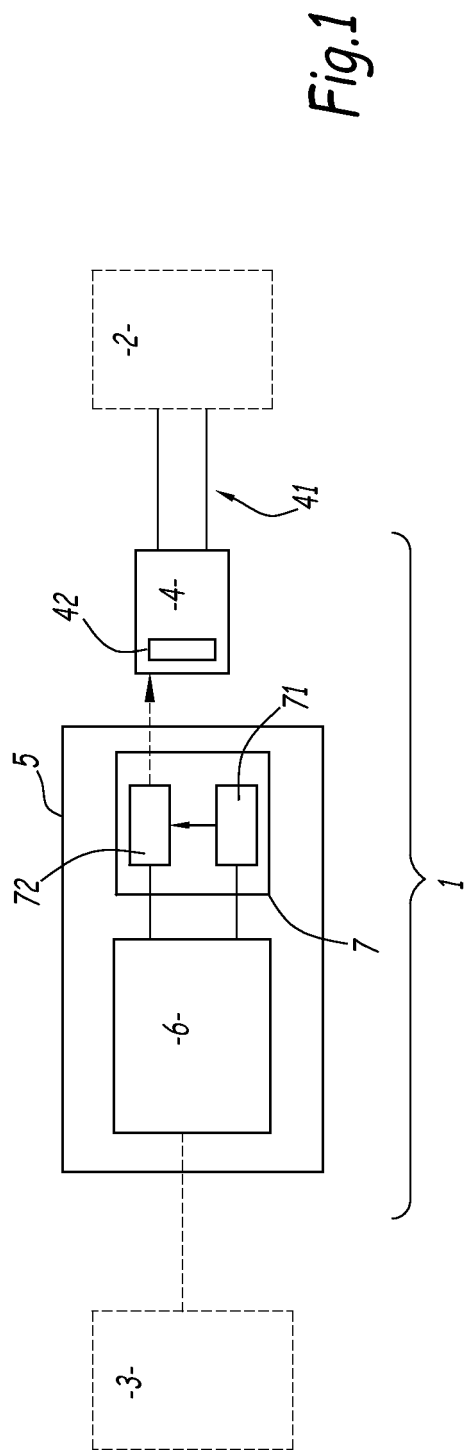
- of measuring (1012) the time (Δt_m) necessary for switching of the relay (4);
- of comparing (1014) the measured time (Δt_m) with a known switching time value (Δt) of the relay (4), in order to determine whether the measured time (Δt_m) is different from the known switching time value (Δt),
- of updating (1018) the known switching time value (Δt) on the basis of the value of the measured time (Δt_m), only if the measured time (Δt_m) is determined as being different from the known switching time value (Δt).

9. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the microcontroller (71) is programmed to carry out steps:

- of identifying (1030) the type of electrical load (2);
- of choosing (1032) a synchronisation strategy for the switching as a function of the type of load identified;
- following receipt of a switching command, of implementing (1036) the chosen synchronisation strategy, this implementation comprising measuring at least one electrical quantity between supply terminals of the electrical load (2) in order to detect a switching condition corresponding to the chosen synchronisation strategy;
- of initiating (1038) the switching of the relay (4) when a switching condition corresponding to this switching strategy is identified on the basis of the at least one measured electrical quantity, the initiation of the switching of the relay being inhibited, at least temporarily, as long as a switching condition corresponding to this switching strategy is not identified.

10. Interrupting device (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the logic stage (7) comprises a radio communication interface (73) adapted to be connected to a radio antenna (731), said radio antenna (731) being placed outside a casing of the device (1) and connected to the interface (73).

11. Electrical assembly comprising an electrical load (2), a power source (3) capable of delivering a supply voltage, and a device (1) for interrupting an electric current, the interrupting device (1) being connected between the electrical load (2) and the power source (3) and comprising to that end a controllable relay (4), the separable electrical contacts (41) of which selectively connect the supply terminals of the electrical load (2) to the source (3) or, alternately, isolate them electrically from the source (3), the electrical assembly being **characterised in that** the interrupting device (1) is in accordance with any one of the preceding claims.



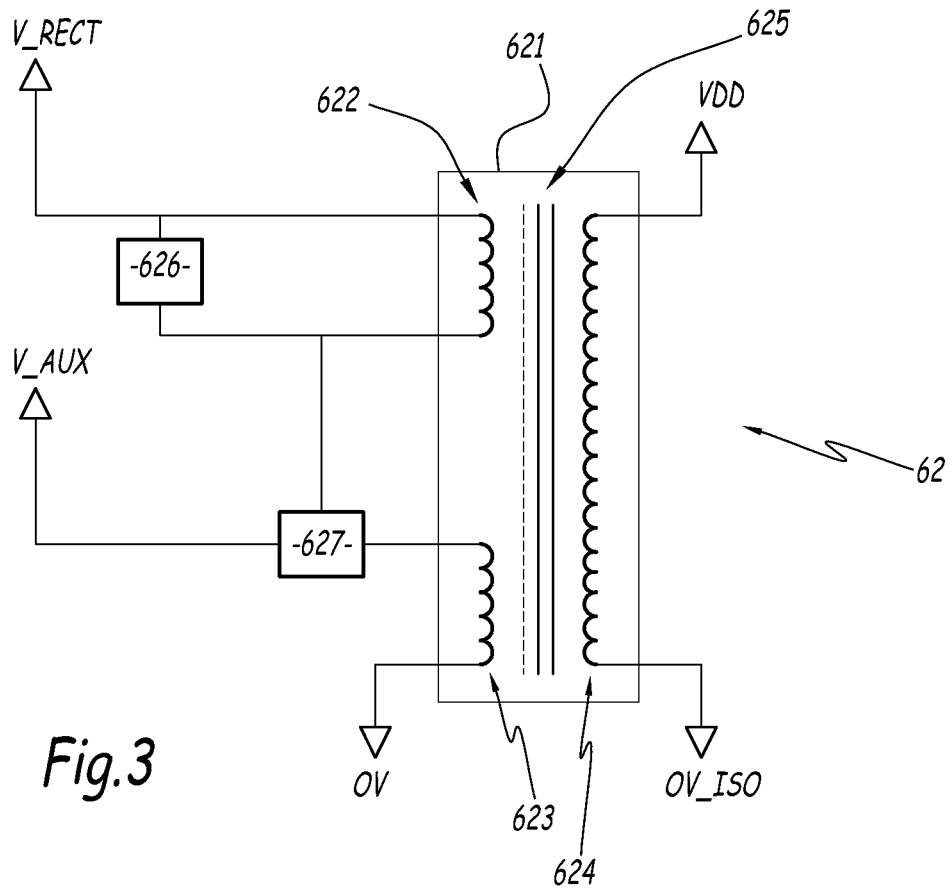


Fig.3

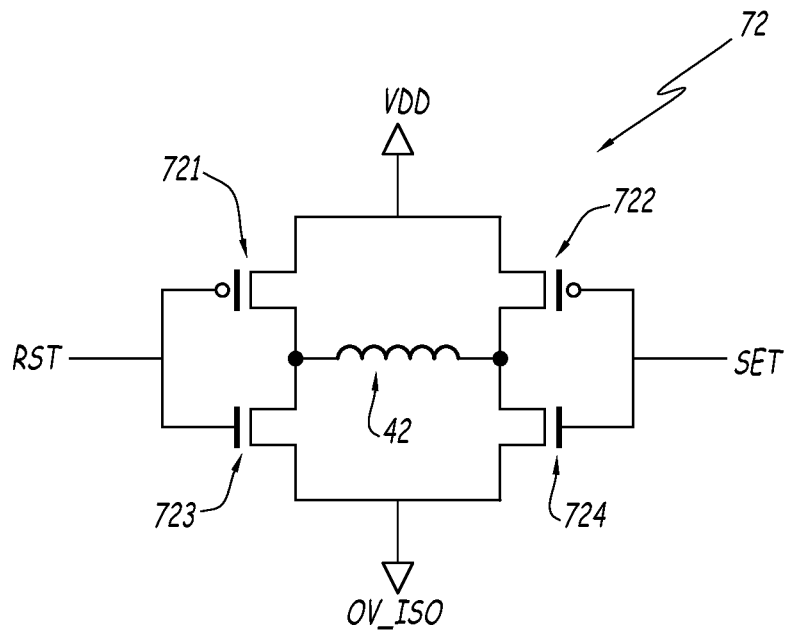


Fig.4

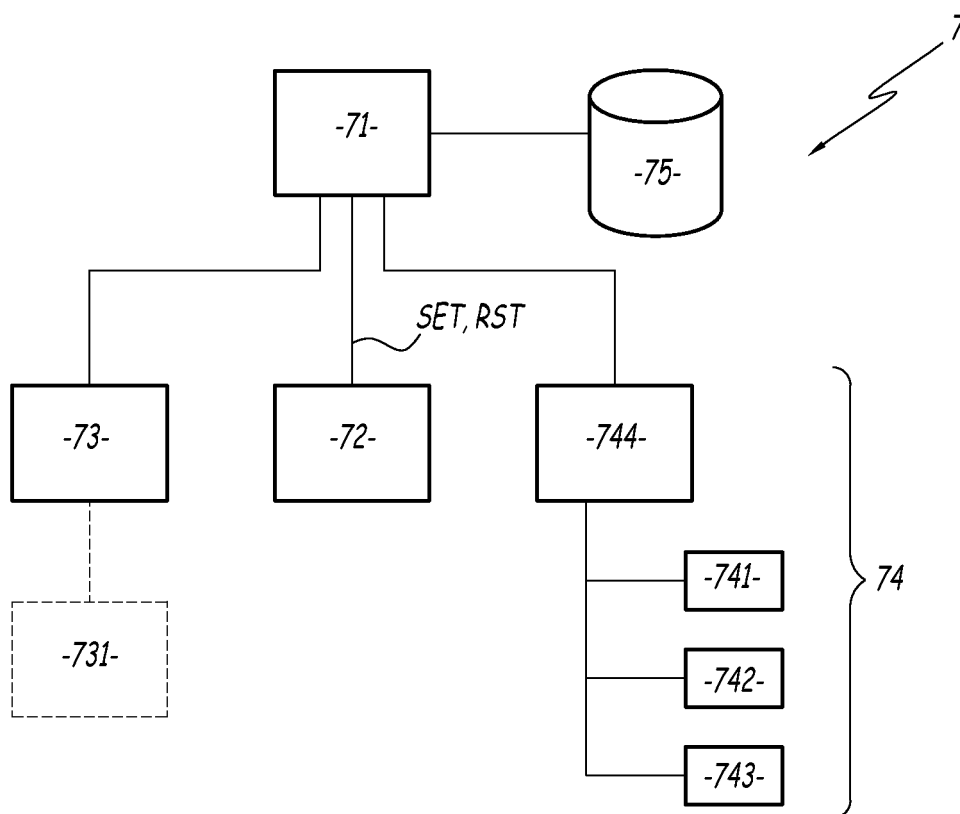


Fig.5

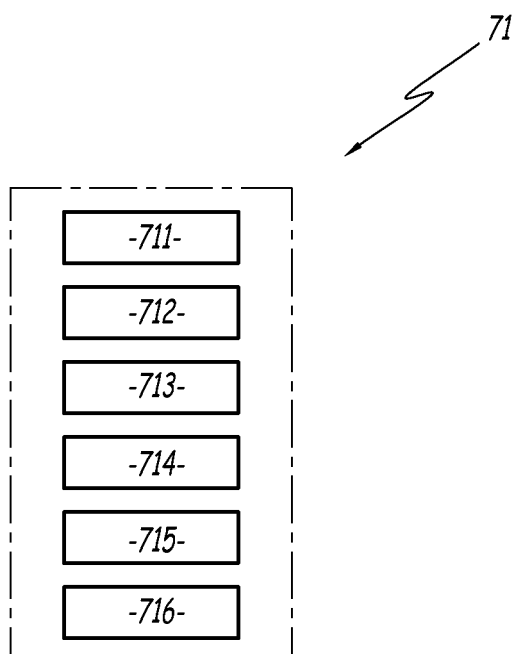


Fig.6

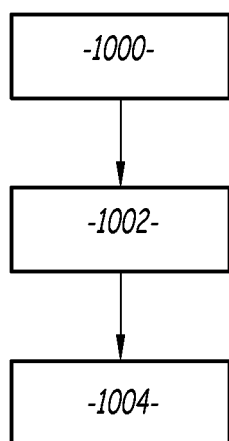


Fig.7

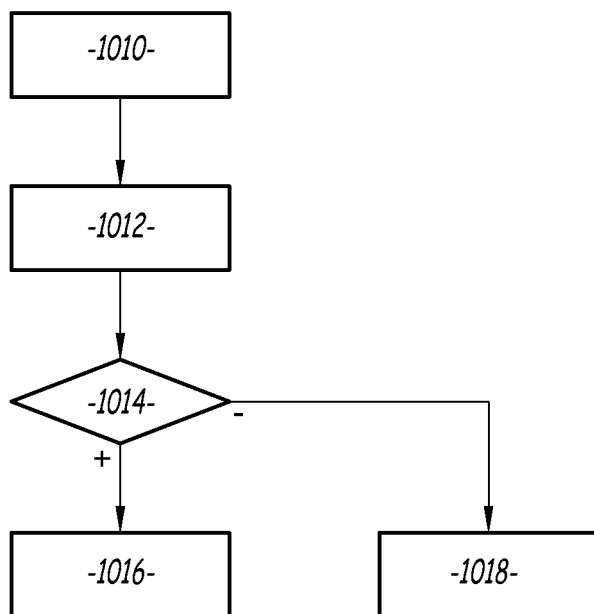


Fig.8

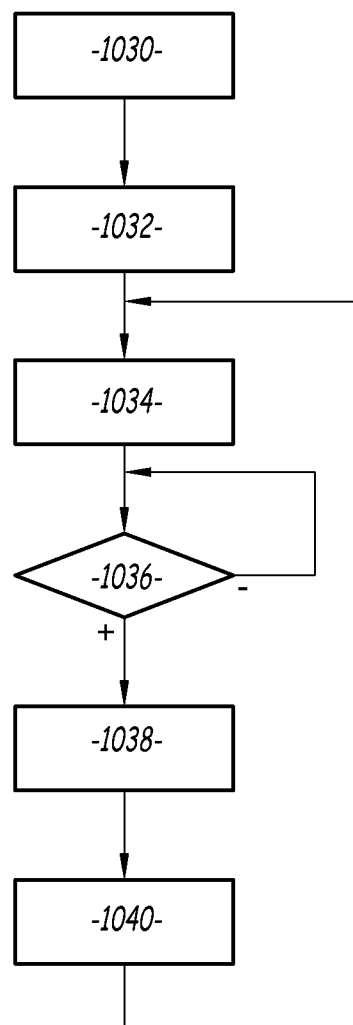


Fig.9

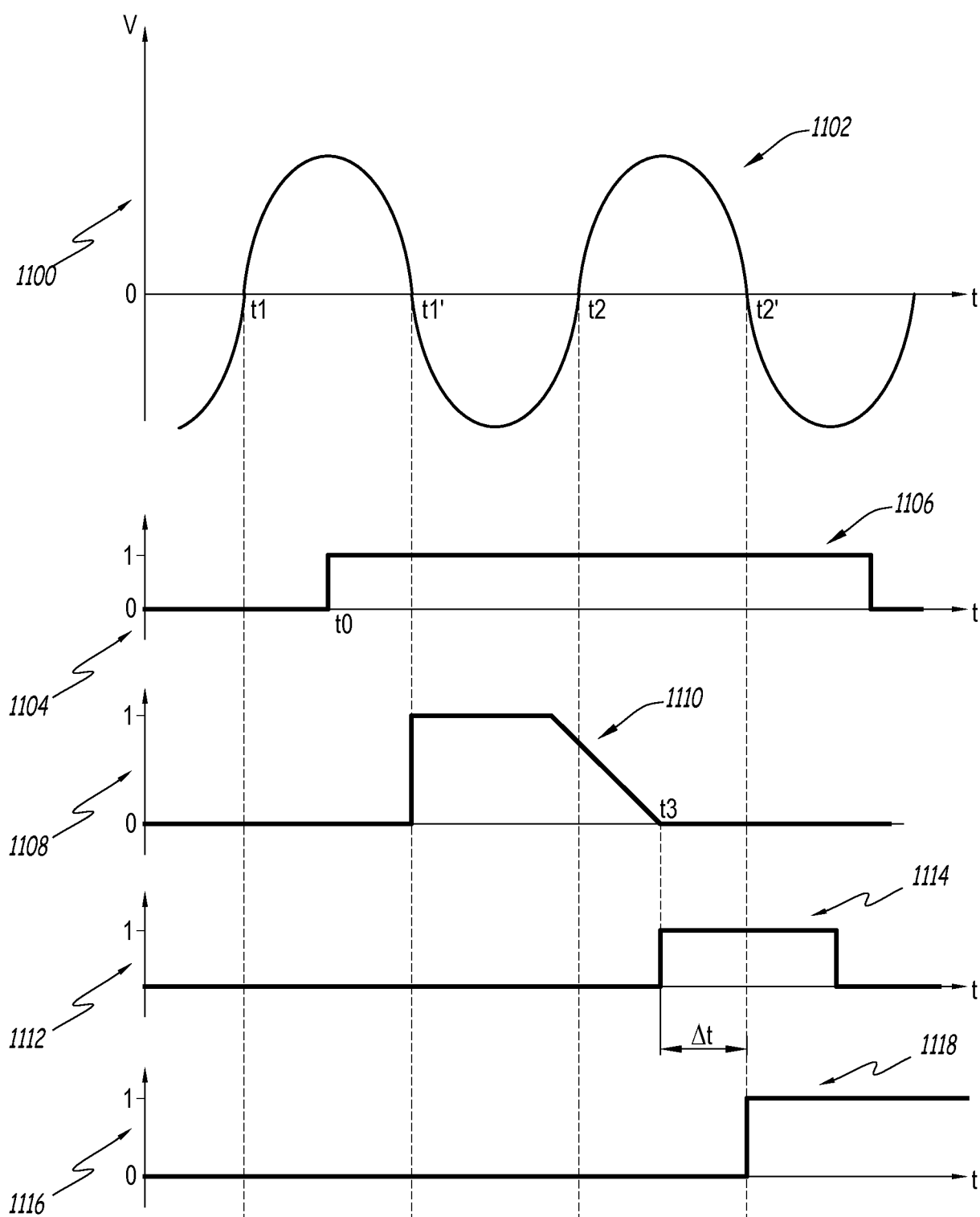


Fig.10

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- FR 2977401 A [0002]