



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

11 CH 676067 A5

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: H 02 H 3/05  
H 01 H 7/06  
H 01 H 71/00

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

## 12 FASCICULE DU BREVET A5

21 Numéro de la demande: 4313/87

22 Date de dépôt: 05.11.1987

30 Priorité(s): 14.11.1986 FR 86 15827

24 Brevet délivré le: 30.11.1990

45 Fascicule du brevet  
publié le: 30.11.1990

73 Titulaire(s):  
La Télémécanique Electrique, Nanterre (FR)

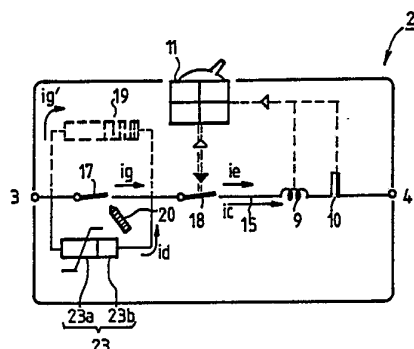
72 Inventeur(s):  
Belbel, Elie, Epinay-sur-Seine (FR)  
Vergez, André, Villennes-sur-Seine (FR)  
Fechant, Louis, Le Vesinet (FR)  
Riotte, Jean-Paul, Epinay-sur-Seine (FR)

74 Mandataire:  
A. Misrachi, Ecublens VD

## 54 Appareil électrique de protection pour l'interruption automatique de courants.

57 Appareil électrique de protection contre des défauts de courant de différentes intensités.

Dans un circuit interne (15) sont disposés en série un premier interrupteur à ouverture automatique (8), qui est commandé par des niveaux de courant modérés, et un second interrupteur à ouverture automatique (17) ayant des propriétés de limitation des courants de court-circuit; un composant limiteur de tension (23) à l'oxyde de Zinc, qui est placé en parallèle sur ce dernier, possède un seuil de stabilisation assez bas pour que des courants dérivés, le traversant lors d'une ouverture sur court-circuit, s'étendent jusqu'à la portion résistive de la caractéristique qui succède au palier de stabilisation.



## Description

L'invention concerne un appareil électrique de protection pour l'interruption automatique de courants de défauts atteignant différents niveaux, dans lequel un circuit interne placé entre une borne d'entrée reliée au réseau et une borne de sortie allant vers une charge comporte:

1. un dispositif interrupteur mécanique dont l'ouverture est opérée lorsque le circuit est traversé par un courant atteignant un premier niveau;

2. un dispositif limiteur de courant qui réagit plus rapidement que le précédent lorsque la vitesse de croissance du courant résulte de l'existence d'un court-circuit en atteignant un second niveau supérieur, et qui développe très rapidement à ses bornes une différence de potentiel, ce limiteur étant alors l'objet d'un dégagement initial d'énergie;

3. des moyens statiques stabilisateurs de tension qui sont disposés en parallèle sur ce dispositif limiteur pour transférer à travers lui une fraction des courants lorsque cette différence de potentiel atteint une valeur égale à la tension de stabilisation de ces moyens statiques.

De tels dispositifs interrupteurs sont, par exemple, connus par le brevet USA 3 249 810, dans lequel sur un premier interrupteur mécanique limiteur de courant se trouvent placés en parallèle une résistance à coefficient de température élevée et une résistance non linéaire limitatrice de tension; dans ce dispositif connu, on assiste, lors de l'ouverture de ce premier interrupteur, d'une part, à un transfert à travers la première résistance du courant qui aurait traversé l'interrupteur et, d'autre part, à un effet de protection de cette première résistance qui est développée par la résistance limitatrice de tension. La présence d'un second interrupteur dont l'ouverture est légèrement retardée par rapport à celle du premier, permet d'établir ensuite un isolement complet du circuit.

Ainsi que cela apparaît clairement dans le texte de ce document, la tension de seuil de la résistance limitatrice de tension est adaptée à l'apparition de tensions pouvant atteindre deux à trois fois la tension normale de crête du réseau et son rôle, qui est, par principe, réduit à celui d'un moyen de protection de la résistance à coefficient de température positif, implique donc nécessairement que cette tension de seuil soit relativement élevée; les effets du montage proposé antérieurement, qui se traduisent par une diminution des contraintes auxquelles un tel interrupteur aurait été exposé dans cet artifice, ne semblent, par suite, intervenir que lorsque ces contraintes atteignent déjà des valeurs élevées.

Comme par ailleurs, l'un des rôles dévolus à cette dernière résistance stabilisatrice est orienté vers une limitation de l'énergie thermique dégagée dans la première résistance, on peut être assuré que les intensités qui la traversent ne s'écartent à aucun moment de la plage de travail ayant un seuil de tension stable, au-delà de laquelle apparaît un régime de fonctionnement de type résistif classique.

La présente invention se propose d'apporter à un

dispositif interrupteur, dont la constitution permet de dériver au moment de l'ouverture des contacts une fraction des courants comme dans le dispositif antérieur, des mesures propres à faire intervenir plus rapidement le phénomène de transfert de courant, afin de réduire les dimensions des boîtiers d'arc et les manifestations qui s'y développent, tout en observant que certains matériaux connus qui bénéficient de propriétés limitatrices de tension peuvent tolérer sans dommage une courte excursion de leur point de fonctionnement dans une branche à caractère résistif que l'on évitait antérieurement de parcourir.

Ces mesures sont en particulier avantageuses pour des appareils où les énergies mises en jeu sont de l'ordre de quelques KJ et où les courants limités sont de l'ordre de quelques KA.

Selon l'invention, le but visé est atteint grâce au fait que les moyens stabilisateurs de tension comprennent un composant à l'oxyde de Zinc, présentant les propriétés suivantes:

a) la tension de seuil est inférieure ou égale à la tension qui apparaît aux bornes du dispositif limiteur lorsque circule entre les bornes d'entrée et de sortie un courant correspondant à l'apparition dans le dispositif limiteur d'un dégagement d'énergie ayant une valeur prédéterminée réduite,

b) une première branche de caractéristique stabilisatrice de ce composant ayant une étendue telle que les courants initiaux transférés soient voisins de, et inférieurs à un courant définissant dans cette caractéristique la présence d'un coude à partir duquel s'élève une seconde branche de caractéristique résistive, cette dernière ayant une pente telle que la circulation de courants ultérieurs transférés, qui sont supérieurs aux premiers courants dérivés développe aux bornes de ce composant une tension atteignant rapidement la tension instantanée du réseau.

Des résistances stabilisatrices de tension faisant notamment appel à l'oxyde de Zinc, peuvent actuellement tolérer sans défaillance des surcharges dont l'énergie peut atteindre dans un court intervalle de temps un ordre de grandeur de 500 J/cm<sup>3</sup>, de sorte que leur incorporation dans un boîtier moulé d'appareil interrupteur de protection n'est pas accompagnée d'une augmentation d'encombrement qui viendrait diminuer par ailleurs les bénéfices de réduction de volume des chambres d'arc.

Par ailleurs, des résistances à coefficient de température positif élevé, mettant en œuvre des polymères chargés avec des éléments conducteurs appropriés, peuvent actuellement tolérer des pointes de quelques KW pendant un court intervalle de temps.

D'une façon générale, on doit considérer que toute énergie sous quelque forme que ce soit qui est dissipée, soit instantanément au moment de l'apparition d'un courant de court-circuit, soit emmagasinée puis restituée après le passage de celui-ci, conduit à la limitation de ce courant.

On peut, par suite, aborder de façon cohérente le comportement des moyens interrupteurs, respec-

tivement limiteurs de courant, dans le cadre d'un bilan énergétique général prenant en compte l'énergie développée, que celle-ci soit instantanément transformée en un phénomène intense de nature mécanique ou thermique, soit que, au contraire, celle-ci soit en quelque sorte emmagasinée sous forme thermique puis ultérieurement rediffusée de façon plus modérée. On verra ultérieurement que tous ces phénomènes devront être accompagnés, à un moment ou à un autre, par un développement rapide d'une tension susceptible de s'opposer à celle du réseau.

L'invention, ainsi que des variantes de réalisation auxquelles celle-ci peut conduire, seront mieux comprises à la lecture de la description ci-dessous et à l'examen des figures annexées qui représentent:

A la figure 1, un schéma de principe d'un premier mode de réalisation de l'invention, où le premier dispositif limiteur de courant est constitué par une résistance particulière;

A la figure 2, un diagramme de l'évolution de la résistance d'un composé conducteur à base organique du type polymère conducteur;

Aux figures 3a et 3b des diagrammes de l'évolution de la tension apparaissant aux bornes de résistances limitatrices de tension à l'oxyde de Zinc, lorsqu'elles sont traversées par des courants croissants;

A la figure 4, un diagramme de l'évolution des courants traversant le circuit de la figure 1 lors de l'apparition de courts-circuits;

A la figure 5, un schéma de principe d'un second mode de réalisation dans lequel le dispositif limiteur de courant est constitué par un premier interrupteur mécanique;

A la figure 6, un perfectionnement applicable à l'un des dispositifs selon les circuits des figures 1, 8 ou 9;

Aux figures 7a, 7b, deux diagrammes de l'évolution des courants et tensions apparaissant dans un dispositif conforme à celui de la figure 5 lors de l'apparition de courts-circuits;

A la figure 8, un mode de réalisation d'un dispositif de protection où la limitation des courants est opérée à l'aide d'un pont de contact pouvant être, en outre, actionné par un électro-aimant de télécommande;

A la figure 9, un mode de réalisation d'un dispositif de protection où un contact limiteur de constitution particulière est associé à un électro-aimant de télécommande;

A la figure 10, un dispositif faisant appel à deux interrupteurs associés offrant une autre possibilité d'obtenir l'isolement du circuit;

Aux figures 11, 12, 13, des seconde, troisième et quatrième organisations des moyens interrupteurs utilisés à la figure 5;

A la figure 14, une partie d'un circuit interrupteur de courants de défaut, dans lequel des moyens de surveillance, qui sont associés à des composants thermiquement chargés, opèrent une protection contre une remise en service trop rapide;

A la figure 15, un schéma des circuits de protec-

tion contre les courants de défaut où l'interrupteur limiteur est d'un type particulier;

A la figure 16, une variante d'exécution de moyens d'ouverture télécommandés qui sont appliqués ici à un interrupteur d'isolement;

A la figure 17 un premier montage particulier de deux composants stabilisateurs ayant des propriétés différentes;

A la figure 20 un second montage particulier de deux composants stabilisateurs ayant des propriétés différentes;

Aux figures 18 et 19 deux courbes décrivant des modes de fonctionnement faisant appel à des montages parallèles de composants stabilisateurs;

A la figure 21 un diagramme représentant l'évolution de décroissance rapide du courant après une coupure automatique suivant l'apparition d'un court-circuit.

Un appareil de protection 1 contre des défauts de courants susceptibles d'apparaître sur une ligne et, le cas échéant, sur une charge placée en série, est illustré à la figure 1, où 2 représente un boîtier isolant comprenant au moins, entre deux bornes de raccordement 3, 4 d'une phase, un circuit interne 5, qui est placé en série avec une charge externe 6 et qui est alimenté par un réseau R, S.

Le circuit 5 comprend, en série, un dispositif statique limiteur de courant 7, un interrupteur mécanique disjoncteur d'isolement 8, un détecteur de surcharges instantanées de courant 9 de type magnétique, et un détecteur thermique de surcharges modérées, mais prolongées 10; le détecteur 9 réagit à un premier niveau ou seuil de courant  $-I_p-$ .

Ces deux dispositifs détecteurs, qui provoquent le déclenchement d'un mécanisme 11, préalablement armé par un organe manuel 11a ou par un moyen de télécommande tel qu'un moteur 12, servent essentiellement à protéger la charge 6, tandis que le dispositif limiteur statique 7 est dimensionné pour réagir lors de l'apparition de courants de court-circuit, dont la croissance doit être limitée pour protéger notamment les lignes d'alimentation.

En parallèle, sur le dispositif limiteur de courant 7 qui est ici constitué par une résistance ayant un coefficient de température positif très élevé faisant par exemple appel à des polymères conducteurs, se trouve placé un organe statique limiteur de tension 13 dont le matériau de base fait appel à l'oxyde de Zinc. La nature de ces organes 7 et 13, ainsi que leurs dimensions ont été choisies pour que d'une part, la croissance des courants de court-circuit développe très rapidement dans le premier une élévation de température qui fasse augmenter très rapidement sa résistance  $-R_T-$  lorsque circule un courant croissant  $-I_g-$ ; la courbe visible à la figure 2, donne une idée de l'allure de cette évolution.

D'autre part, l'organe statique limiteur de tension 13 est choisi pour que son seuil de stabilisation  $-U_s-$ , visible à la figure 3a ait une valeur suffisamment basse pour que des courants de transfert croissants  $-I_d-$  le traversent avant qu'un dégagement d'énergie thermique trop important, ou destructif de ses propriétés, se soit développe par effet

Joule dans la résistance limitatrice de courant 7 lorsque celle-ci est traversée par un courant de court-circuit initial  $-i_0$  atteignant une certaine valeur; en d'autres termes, des courants dérivés élevés  $-i_d$  commencent à traverser le composant stabilisateur de tension 13 dès qu'apparaît aux bornes de la résistance 7 une différence de potentiel supérieure à ce seuil de tension.

Le transfert de courant qui est ainsi opéré dans cet organe limiteur de tension lorsque l'excursion du courant  $-i_d$  s'opère sur la branche  $-A-$  horizontale visible à la figure 3a, peut atteindre, selon l'invention, des proportions d'environ deux ordres de grandeur avant que ne soit concernée une branche ascendante  $-B-$  présentant un caractère résistif de pente  $\alpha$  très prononcée, qui succède à un coude  $-C-$  de la caractéristique survenant pour un courant  $-i_j$ ; le choix des valeurs  $-U_s$ ,  $-i_j$  et  $-\alpha$  résulte du partage de l'énergie que l'on souhaite établir entre la résistance 7 et le composant 13 pour que ceux-ci conservent leurs propriétés sans risque de détérioration.

L'évolution des comportements de ces organes doit être telle que la branche  $-B-$  soit effectivement parcourue par des courants importants, mais non destructeurs, et pendant un court intervalle de temps où s'effectue en quelque sorte une mise en parallèle de deux résistances; ce mode de fonctionnement est matérialisé sur les figures correspondantes 1 et 3a par le fait que l'organe stabilisateur de tension 13 est représenté ici par la combinaison série de deux éléments associés 13a, 13b répondant chacun aux caractéristiques de la branche correspondante  $-A-$  respectivement  $-B-$ . L'évolution des courants dans les deux branches est illustrée à la figure 4.

Au terme du court intervalle de temps qui a été nécessaire pour que se développent de façon conjuguée les deux phénomènes, le détecteur magnétique de courant 9 réagit à son tour pour libérer l'énergie mécanique accumulée dans l'organe 11; cette dernière est à son tour utilisée pour provoquer l'ouverture de l'interrupteur 8 à qui ne sont dévolues que les fonctions de coupure d'un courant considérablement réduit  $-i_e$  et celle de l'établissement d'un isolement total du circuit, voir figures 4 et 7a. Si les courants de défaut n'atteignent pas le niveau de ceux du court-circuit, seul l'interrupteur 8 opère une fonction de disjonction.

Selon une variante de réalisation 21 du circuit visible à la figure 5, où les pièces ayant les mêmes fonctions que celles de la figure 1, sont accompagnées par des repères identiques à ceux de cette figure, un second interrupteur mécanique 17 opère ici la fonction d'organe limiteur de courant de court-circuit. Un tel interrupteur peut faire appel aux forces de répulsion électro-dynamiques qui deviennent efficaces pour des courants très importants.

Au moment de l'ouverture d'un tel interrupteur, l'évolution de la tension d'arc  $-U_a$  apparaissant à ses bornes par rapport à la tension du réseau, gouverne la croissance du courant  $-i_r$  dans le circuit 15; on sait que l'évolution de cette tension d'arc dont la croissance doit être aussi rapide que possible,

est notamment déterminée par la vitesse d'allongement de l'arc (éventuellement fractionné sur des ailettes) et/ou par la vitesse de réduction de sa section (éventuellement forcée par un étranglement), ainsi que par la vitesse de refroidissement. Chacun de ces artifices ou des combinaisons d'entre eux, ainsi que l'utilisation d'un pont de contact à double coupure pourront être choisis pour développer, le cas échéant, à l'aide de moyens appropriés tels que, par exemple, un écran isolant 20 passant rapidement entre les contacts, une rapide croissance de la tension d'arc.

Comme dans le précédent mode de réalisation de la figure 1, un organe statique limiteur de tension 23, assimilable à la mise en série d'un organe limiteur pur 23a ayant un seuil de tension  $-U_s$  s'étendant jusqu'à un coude  $-C-$  pour un courant  $-i_j$ , et d'un organe résistif 23b de pente  $-\alpha$  dans sa partie caractéristique  $-B-$ , est placé en parallèle sur l'interrupteur mécanique 17, voir aussi figure 3b.

Lors de l'apparition d'un court-circuit dans le circuit 15, voir figures 7a et 7b, un courant partant d'une intensité nominale  $-I_n$  et ayant une croissance de direction  $I_{cc}$  commence à s'établir à l'instant  $t_0$ ; à l'instant  $t_1$ , ce courant atteint une valeur  $-I_p$  pour laquelle réagiraient les détecteurs de courant tels que 8 si cette croissance était moins rapide. Cette valeur  $-I_p$  est, par exemple, de l'ordre de grandeur de 12 à 15 fois le courant nominal  $-I_n$  lorsque l'on souhaite par exemple protéger un moteur représentant la charge.

L'ouverture effective de l'interrupteur limiteur 17 s'effectue lorsque le courant qui le traverse atteint une valeur  $-i_c$  qui est de l'ordre de 50 à 100 fois celle du courant nominal, à l'instant  $t_2$ .

Dans les interrupteurs limiteurs classiques utilisés en basse tension, où l'on fait se développer rapidement la tension d'arc d'un interrupteur mécanique, celle-ci part d'une valeur initiale de l'ordre de 15 à 20 V pour atteindre des valeurs maximum de par exemple 800 V afin que soit rapidement établie une crête de courant limité  $-i_m$ . Ce phénomène qui est gouverné par l'équation

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U_r - U_a$$

où L et R sont l'inductance et la résistance du circuit, et où  $U_r$  et  $U_a$  représentent les tensions du réseau et respectivement la tension d'arc, montre que la crête de courant limité  $-i_m$  est pratiquement atteinte dès que  $U_a = U_r$ .

Dans le circuit 15 mis en œuvre à la figure 5, on a, par exemple, choisi une résistance limitatrice 23 ayant un seuil de tension  $-U_s$  de l'ordre de 20 V, qui s'étend le long d'une partie caractéristique  $-A-$ , où le courant  $-i_j$  du coude  $-C-$  est voisin de la valeur du courant  $-i_c$ .

Par suite, dès que  $-U_a$  atteint 20 V, on assiste à un transfert très rapide du courant qui traversait l'interrupteur 17, vers le composant stabilisateur 23 qui se comporte pratiquement comme un shunt de

très faible résistance traversé par un courant dérivé  $-i_d-$ ; faute d'une tension suffisante  $-U_c-$  à ses bornes, l'arc s'éteint alors au voisinage de l'instant  $t_2$  en  $t'_2$ .

Il est toutefois nécessaire, si l'on veut établir par voie statique un mode de fonctionnement limiteur comparable à celui qui s'établirait en présence d'un arc, que l'on substitue à une tension d'arc croissante, une autre tension croissante, ainsi que cela se produit pour le circuit 5 de la figure 1.

Cette tension croissante  $-U_z-$  est obtenue ici, grâce au fait qu'une région  $-B_1-$  de la courbe caractéristique du composant 13 présente après le coude  $-C_1-$  une branche ascendante d'allure résistive de pente  $-\alpha_1-$  autorisant le passage d'un courant ultérieur  $-i_z-$  qui est accompagné par le développement à ses bornes d'une tension croissante  $-U_z-$  de pente  $-\beta_1-$ , voir figure 3b.

Plus cette pente sera élevée, plus tôt sera atteint un instant  $t_3$ , pour lequel  $U_1 = U_z$ , et où le courant  $-i_z-$  atteint une valeur de crête égale à  $-i_m-$ , voir figures 7a et 7b.

On constate bien à l'examen de ces figures que la majeure partie de l'énergie dégagée par cette coupure a été consommée et emmagasinée dans le composant à  $ZnO$ , 23, tandis que l'interrupteur 17 n'a été le siège que d'un développement extrêmement limité d'énergie sous forme d'un arc de durée très courte.

Les manifestations extérieures thermiques, mécaniques et sonores, ainsi que l'érosion des contacts de l'interrupteur se trouvent par suite considérablement limitées.

Il est donc avantageux d'utiliser un composant  $ZnO$  qui présente simultanément en  $-A_1-$  un seuil de tension  $-U_{s1}-$  de faible valeur, une pente de caractéristique résistive  $-\alpha_1-$  de valeur élevée ou rapidement croissante en  $-B_1-$  et une plage de stabilisation ayant une étendue qui soit compatible, d'une part, avec le courant maximum que l'on souhaite transférer pour éteindre l'arc au moment où celui-ci a dégagé une énergie prédéterminée et faible, et soit compatible, d'autre part, avec l'énergie maximum que peut absorber sans dommage le composant  $ZnO$  afin que la réversibilité de son fonctionnement soit assurée pour un nombre de cycles de fonctionnement fixé à l'avance.

L'une des manières de permettre à un composant limiteur de tension à  $ZnO$  de mieux supporter un choc thermique déterminé ou évolué à l'avance consiste à le réaliser par l'association en parallèle de deux éléments ayant des propriétés analogues.

Si, dans ces conditions, l'étendue de la plage stabilisatrice peut être diminuée pour que chacun de ces composants soit traversé par un courant moins intense, par exemple  $-i_{d/2}-$ , il faudra par contre choisir ceux d'entre eux qui présentent des pentes  $-\alpha-$  plus élevées afin que la croissance de la tension  $-U_z-$  à leurs bornes conserve sensiblement la même allure.

Une seconde façon de partager l'énergie dégagée dans plusieurs composants limiteurs de tension à  $ZnO$  associés, consiste à monter en parallèle deux d'entre eux 23c, 23d présentant des seuils de stabili-

sation  $-U'_s-$ ,  $-U''_s-$  sensiblement différents; dans ce cas, lorsqu'est atteint un courant  $-i_{z1}-$ , développant aux bornes du premier composant 23c une tension  $-U_{z1}-$  égale à la tension de seuil plus élevée  $-U'_s-$  du second composant, on assiste à un second transfert de courant, de sorte que le premier composant n'est plus l'objet d'un développement d'énergie aussi important, voir figures 17 et 18.

Il est clair que la réalité de ce second transfert de courant ne peut être établie que si le courant de coude  $-i''_j-$  du composant 23d, est supérieur au courant de coude  $-i'_j-$  du composant 23c.

Par ailleurs, la valeur de la pente de croissance de la tension résultant de la mise en parallèle de deux branches de type  $-B-$  à caractéristiques résistives distinctes, laisse prévoir une diminution de la pente de croissance  $-\beta-$  de la tension, qui suivra après ce second transfert une allure globale correspondante de pente plus faible; on peut écarter ce désavantage en choisissant un composant dont le courant de coude  $-i'_j-$  est élevé.

On peut également envisager d'établir un dispositif de transfert de courant utilisant en parallèle des composants à seuils de tension  $-U_{s3}-$ ,  $-U_{s4}-$  différents, pour que la caractéristique de fonctionnement présente une propriété d'hystérésis, et afin que la diminution du courant, après l'atteinte de sa valeur de crête, se fasse en passant, au retour, par un seuil de tension  $-U_{s4}-$  qui soit très largement supérieur au seuil de tension  $-U_{s3}-$ , concerné à l'aller, voir figure 19.

La mise en œuvre d'un tel dispositif qui permet de donner ou de conserver à la pente  $-\gamma-$  de décroissance du courant une valeur importante, concourt à la réduction du temps de coupure total  $-t_6-$ .

Selon un premier circuit 90 visible à la figure 20, où deux composants  $ZnO$ , 91, 92 à seuils de tension très différents (par exemple 20 V pour l'un et 600 V pour l'autre) sont placés en parallèle sur un interrupteur limiteur 93, on utilise un semi-conducteur commandé 94 dans la première branche 95 recevant le premier composant 91 dont la tension de seuil est la plus basse.

Selon le circuit particulier 96 représenté à la figure 17, on place en parallèle sur l'interrupteur limiteur mécanique 97:

- d'une part, un premier composant limiteur de tension 98 à l'oxyde de Zinc, ayant un seuil de tension  $-U_{s3}-$  de valeur voisine de 20 V, qui est monté en série avec une résistance à coefficient de température très élevé 99 faisant appel à des polymères conducteurs,

- d'autre part, un second composant limiteur de tension 100 à l'oxyde de Zinc, ayant un seuil de tension  $-U_{s4}-$  de valeur élevée, par exemple voisin de 600 V lorsque la tension du réseau est de l'ordre de 380 V à 440 V.

Au moment où s'ouvre l'interrupteur limiteur 97 et où s'opère le transfert de courant  $-i_{d1}-$  dans la première branche 101, on assiste comme précédemment à l'extinction de l'arc et il s'établit dans la résistance 99 un dégagement d'énergie très important; ce phénomène peut prendre plusieurs allures selon que

l'augmentation rapide de résistance s'établit sensiblement au moment où le courant atteint la valeur  $-I_j$  du coude  $-C-$ , voir courbe en traits pleins, ou ultérieurement pour un courant  $-i_{j1}$ , voir courbe en traits pointillés.

Dans les deux cas, la pente de croissance résistive est modifiée par rapport à la pente que présenterait un seul composant à seuil.

Dès que la tension aux bornes de la première branche 101 atteint une valeur égale au seuil de tension  $-U_4-$  du second composant 100, un courant  $-i_{d2}-$  se transfère dans la seconde branche 102.

La présence de la résistance à coefficient de températures positif, qui se trouve encore à une température élevée, et présente par suite une résistance très importante, fait que le courant ne peut traverser la branche 101 en suivant la caractéristique du composant 98. La tension aux bornes est alors maîtrisée par la seule présence du second composant 100, ce qui revient à dire que lors de la diminution du courant, celle-ci s'opère en observant les conditions de la branche  $-D-$  le long de laquelle se déplace le point de fonctionnement, voir figure 21.

L'équation

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U_r - U_s$$

possède donc à cet instant un second membre  $U_r - U_{s4}$  qui reste très inférieur à zéro, de sorte que

$$\frac{di}{dt}$$

suit une évolution comparable; il en résulte une diminution très rapide du courant qui concourt à réduire le temps de coupure total  $-t_6-$  et à provoquer par suite, une réduction de l'énergie dégagée entre les instants  $-t_0-$  et  $-t_6-$ .

Une amélioration supplémentaire de la diminution d'énergie dégagée par l'arc dans un circuit selon la figure 5 peut être obtenue en plaçant en parallèle sur l'interrupteur limiteur 17 une résistance à coefficient de température élevé 19 représentée en pointillés et comparable à celle utilisée précédemment avec la référence 7, voir figure 5.

Le rôle de cette résistance, qui n'est pas ici identique à celui qu'elle jouait dans l'exemple précédent de la figure 1, est de permettre d'une part, l'apparition immédiate d'un courant dérivé supplémentaire  $-i_g-$  avant que ne soit atteint le seuil de tension  $-U_s-$  de la résistance stabilisatrice 23, tout en provoquant d'autre part, une importante consommation d'énergie avant que soit atteinte la branche ascendante de la portion de caractéristique résistive de la résistance limitatrice de tension qui sera à son tour parcourue par le courant  $-i_z-$ .

L'allure du double phénomène de transfert de courant montre que si le courant limité ne subit qu'une modeste réduction de sa valeur de crête, l'énergie dégagée de façon instantanée par l'arc (exprimée par exemple par

$$\int i^2 dt)$$

est réduite dans d'intéressantes proportions.

Comme dans l'exemple précédent, une ouverture ultérieure de l'interrupteur mécanique 18 qui n'a plus qu'à s'exercer sur un courant sensiblement limité, permet d'opérer l'isolement total du circuit.

Toutefois, avec un seul composant  $ZnO$  à 20 V de seuil, le moment  $-t_4-$  où s'opère cette dernière ouverture doit précéder l'instant  $-t_5-$  pour lequel réapparaît aux bornes de l'appareil une tension de rétablissement  $-U_m-$  supérieure à la tension de seuil.

L'énergie, qui a été emmagasinée sous une forme thermique dans les résistance 19 et composant 23 est dissipée ultérieurement dans une ou des régions 24, 25 du boîtier 22, qui sont étudiées pour en permettre l'évacuation rapide, voir figure 6.

On peut associer à ces régions dans un appareil perfectionné 31 des détecteurs de température par exemple biméalliques tels que 26, 29 pour rendre impossible par voie mécanique 28, 28<sub>b</sub> ou respectivement électrique 28, 28<sub>a</sub> un réarmement manuel ou télécommandé du mécanisme 11, tant que les résistance et/ou composant stabilisateurs n'ont pas retrouvé un équilibre thermique déterminé; si la constitution des interrupteurs 17 respectivement 27 le permet, ces détecteurs de température peuvent également empêcher, puis autoriser leur refermeture volontaire après une ouverture automatique, par exemple en agissant sur le circuit d'alimentation 35 d'un électro-aimant de commande à distance 30 à l'aide de l'interrupteur série 35<sub>a</sub>, voir figure 14; un interrupteur 44 comprenant un contact mobile limiteur 44<sub>a</sub> et un contact pseudo-fixe 44<sub>b</sub> actionné par l'électro-aimant 30 peut convenir pour cette dernière application.

Dans le cas d'une telle commande à distance, s'opérant en l'absence de défaut, on devra prévoir une mise hors circuit supplémentaire des résistances 19, 23 pour que l'isolement de la ligne soit total, lorsque cette manoeuvre est effectuée avec un interrupteur 8 fermé.

Dans le cas où l'interrupteur limiteur 37 d'un appareil 41 est du type à pont de contact 38, on peut relier ce dernier par exemple à l'aide d'une tresse conductrice 37<sub>a</sub> à des bornes 32, 32' des résistances 33 respectivement 39, dont les autres bornes 34, 34' sont reliées directement soit à la borne d'alimentation 3 du circuit 35, soit à l'interrupteur 8, voir figure 8. Dans un tel montage, on peut éventuellement supprimer cet interrupteur 8 en faisant agir le mécanisme 11 sur l'interrupteur 37 parallèlement à l'action de l'électro-aimant de télécommande 30.

Dans le mode de réalisation 31<sub>a</sub> illustré à la figure 9, l'interrupteur limiteur 27', dont l'ouverture peut être télécommandée par l'électro-aimant 30, possède un contact mobile 27<sub>a</sub> qui s'applique en position de fermeture sur deux contacts fixes isolés 27<sub>b</sub>, 27<sub>c</sub> dont l'un est relié à l'interrupteur 8, tandis que l'autre est relié aux deux résistances 23, 19, de sor-

te que l'ouverture de ce contact mobile établit un isolement total du circuit 35<sub>a</sub>.

Si l'interrupteur limiteur 47 d'un appareil 41<sub>a</sub> est du type à simple coupure par contact mobile, il faudra prévoir un interrupteur supplémentaire 42 dont le mouvement sera associé ou non à celui de l'interrupteur limiteur, voir figure 10, pour écarter du circuit 45 les deux résistances et obtenir un isolement total.

Il est également possible d'opérer une ouverture télécommandée d'un circuit 85 appartenant à un appareil 81 visible à la figure 16, en faisant agir un électro-aimant de télécommande 30<sub>a</sub> sur l'un des contacts mobile 8<sub>a</sub> ou fixe 8<sub>b</sub> d'un interrupteur 8<sub>c</sub> associé au mécanisme 11 de façon appropriée pour opérer soit des fonctions de disjonction, soit des fonctions d'isolement.

Selon une première variante de réalisation 51 visible à la figure 11, où l'on a opéré une combinaison des mesures prises aux figures 1 et 5, la résistance stabilisatrice 53 est branchée en parallèle sur le montage série d'un interrupteur limiteur mécanique 57 et d'une résistance à coefficient de température positif élevé 59; ici encore l'isolement complet du circuit 55 ne peut être opéré que par l'ouverture ultérieure de l'interrupteur 8.

Selon une seconde variante de réalisation 51<sub>a</sub>, visible à la figure 12, où l'on a opéré une combinaison comparable à la précédente, la résistance stabilisatrice 53<sub>a</sub> est branchée en parallèle avec un interrupteur limiteur 57<sub>a</sub> et ce montage parallèle est à son tour placé en série avec la résistance à fort coefficient de température positif 59<sub>a</sub> dans le circuit 55<sub>a</sub>.

Enfin, dans un mode de réalisation 61 représenté à la figure 13, un interrupteur limiteur 67 est placé en série avec une résistance à coefficient de température positif élevé 69, ce montage série étant lui-même placé en parallèle dans le circuit 65 avec un montage série comprenant un interrupteur d'isolement 68 et une résistance limitatrice de tension 63.

Dans une première phase de fonctionnement en régime de courant de court-circuit, ce dispositif de protection fonctionne comme celui de la figure 11, en raison de l'ouverture préalable de l'interrupteur limiteur 67 qui doit interrompre d'abord un courant  $-i_g-$ ; le courant dérivé  $-i_d-$  qui a provoqué simultanément une élévation importante de la résistance de l'élément 63 est ensuite coupé par l'ouverture de l'interrupteur d'isolement 68 lorsqu'un bobinage magnétique 9 provoque le déclenchement du mécanisme 11.

Ce type de circuit nécessite évidemment une certaine conjugaison mécanique 62, 64 de l'action du mécanisme 11 sur les deux interrupteurs 68, 57 de façon à établir un isolement total lorsque les défauts de courant ne sont détectés que par le bobinage 9 ou par la bilame 10.

Parmi les possibilités qui s'offrent pour réaliser des appareils à interrupteurs limiteurs 17, 27, 37, 47, 57, 67 dont le calibre nominal est plus faible, il faut mentionner celle 70 illustrée à la figure 15, où le contact mobile 77 à simple ou à double coupure, est l'objet d'une percussion communiquée lors de l'apparition de courants de court-circuit, par exemple par le déplacement instantané d'un noyau plongeur 71 qui est associé à un second bobinage magnétique rapide 72 placé en série avec un premier bobinage 73 dont la fonction plus lente est comparable à celle du bobinage 9 de la figure 1.

Enfin, il est possible d'associer aux contacts mobiles des interrupteurs d'isolement, des structures magnétisables en forme de U qui sont connues et sont susceptibles de communiquer à ces contacts des forces électro-dynamiques propres à renforcer, d'une part, la pression de contact dans le sens de la fermeture lorsque circulent les courants élevés imputables aux courts-circuits, et aptes, d'autre part, à délester cette pression de contact au moment où l'intensité de ces courants de courts-circuits ayant sensiblement diminuée, on doit opérer le déplacement du contact mobile dans le sens de l'ouverture.

Revendications

1. Appareil électrique de protection pour l'interruption automatique de courants de défauts ayant différents niveaux, dans lequel un circuit interne (5) placé entre une borne d'entrée (3) reliée au réseau et une borne de sortie (4) allant vers une charge (6) comporte:

1. un dispositif interrupteur mécanique (8) dont l'ouverture est opérée lorsque le circuit est traversé par un courant atteignant un premier niveau;

2. un dispositif limiteur de courant (7, 17) qui réagit plus rapidement que le précédent lorsque la vitesse de croissance du courant résulte de l'existence d'un court-circuit en atteignant un second niveau ( $-I_c-$ ) supérieur, et qui développe très rapidement à ses bornes une différence de potentiel ( $-U_a-$ ), ce dispositif limiteur étant alors l'objet d'un dégagement initial d'énergie;

3. des moyens statiques stabilisateurs de tension (13, 23) qui sont disposés en parallèle sur ce dispositif limiteur pour transférer à travers ces moyens statiques une fraction ( $-I_d-$ ) des courants lorsque cette différence de potentiel atteint une valeur égale à la tension de stabilisation ( $-U_s-$ ) de ces moyens statiques,

caractérisé en ce que les moyens stabilisateurs de tension comprennent un composant à l'oxyde de Zinc (13), présentant les propriétés suivantes:

a) la tension de seuil ( $-U_s-$ ) est inférieure ou égale à la tension ( $-U_c-$ ) qui apparaît aux bornes (j), (k) du dispositif limiteur de courant (7) lorsque circule entre les bornes d'entrée et de sortie un courant ( $-I_c-$ ) correspondant à l'apparition dans le dispositif limiteur d'un dégagement d'énergie ( $-E-$ ) ayant une valeur prédéterminée réduite,

b) une première branche de caractéristique stabilisatrice ( $-A-$ ) ayant une étendue telle que les courants initiaux transférés ( $-I_d-$ ) soient voisins de, et inférieurs à un courant ( $-I_j-$ ) définissant dans cette caractéristique la présence d'un coude ( $-C-$ ) à partir duquel s'élève une seconde branche de caractéristique résistive ( $-B-$ ), cette der-

nière ayant une pente  $(-\alpha-)$  telle que la circulation de courants ultérieurs transférés  $(-I_z-A_z-)$ , qui sont supérieurs aux premiers courants dérivés  $(-I_d-)$  développe aux bornes (j), (k) de ce composant (13) une tension  $(-U_z-)$  atteignant rapidement la tension instantanée  $(-U_-)$  du réseau.

2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif limiteur de courant est une résistance à polymère conducteur (7) ayant un coefficient de température positif élevé, le seuil de tension du composant stabilisateur de tension (13) étant choisi pour que le dégagement d'énergie  $(-E-)$  consécutif à l'apparition d'un courant de court-circuit permette un fonctionnement réversible de cette résistance (7).

3. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif limiteur de courant est un interrupteur à contacts mécanique (17, 27,...), le seuil de tension du composant étant de 20 V à 30 V.

4. Appareil selon la revendication 3, caractérisé en ce que, en parallèle, sur le composant stabilisateur de tension (23), est placée une résistance à polymère conducteur (19) ayant un coefficient de température positif élevé.

5. Appareil selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que des moyens sont associés à l'interrupteur limiteur mécanique de courant (27) pour faire croître rapidement la tension d'arc initiale engendrée à l'ouverture dudit interrupteur, lesdits moyens comportant un écran isolant (20) apte à s'engager entre les contacts dudit interrupteur ou un percuteur (71) apte à provoquer une ouverture brutale desdits contacts.

6. Appareil selon la revendication 3, caractérisé en ce que le composant stabilisateur de tension (53) est placé en parallèle sur un montage série comprenant un interrupteur limiteur (57) de courant et une résistance à coefficient de température élevé (59).

7. Appareil selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'une résistance à coefficient de température élevé (59a) est placée en série avec un montage parallèle comprenant un interrupteur limiteur (57a) de courant et le composant stabilisateur de tension (53a).

8. Appareil selon la revendication 3 ou 6, caractérisé en ce que l'interrupteur limiteur (67) de courant est placé en série avec une résistance à coefficient de température élevé (69), ce premier montage série étant lui-même placé en parallèle sur un second montage série comprenant le composant stabilisateur de tension (63) et le dispositif interrupteur mécanique (68).

9. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce que des moyens de surveillance thermique (26, 29) associés à la résistance ayant un coefficient de température élevé (19), respectivement au composant stabilisateur de tension (23) établissent par voie mécanique (28, 28b) respectivement électrique (28, 28a), une interdiction de fermeture du dispositif interrupteur mécanique (8), tant qu'une stabilité thermique n'a pas été atteinte.

10. Appareil selon l'une des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que l'interrupteur limiteur (37, 27, 47) de courant est monté en série dans le circuit re-

liant les susdites bornes d'entrée (3) et de sortie (4) et connecté à l'une des bornes de l'ensemble dispositif stabilisateur de tension (23, 39) résistance à coefficient de température élevé (33, 19), de manière à débrancher ledit ensemble dudit circuit lorsqu'il est en position ouverte.

11. Appareil selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que des moyens électro-magnétiques (30a) permettent d'actionner à distance le dispositif interrupteur mécanique (8a, 8b, 8c) indépendamment d'un mécanisme de déclenchement (11) qui lui est associé.

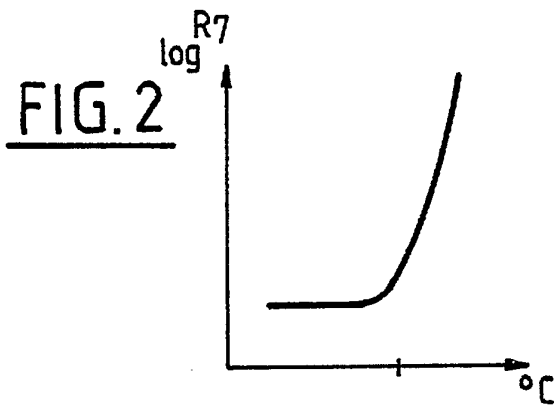
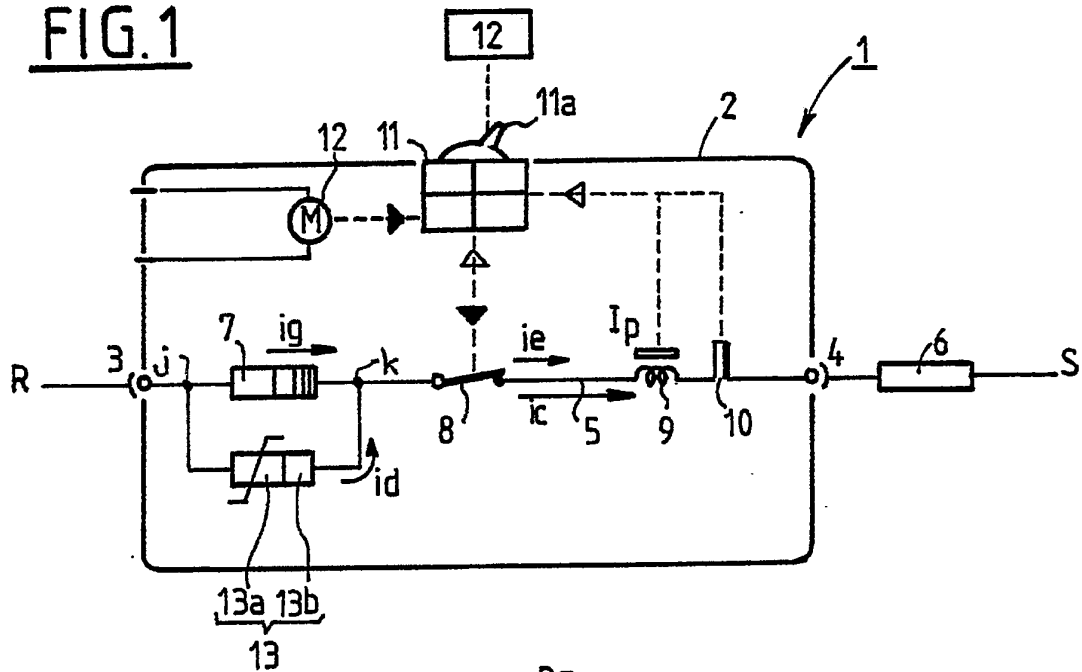
12. Appareil selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'un premier et un second composants statiques stabilisateurs de tension (98, 100) sont montés en parallèle sur le dispositif limiteur de courant (97) et présentent des seuils de stabilisation  $(-U'_s-)$ , respectivement  $(U''_s-)$ , l'un bas et l'autre élevé, de façon que deux courants dérivés les traversent successivement lors de la croissance de la tension existant aux bornes du dispositif limiteur de courant (97).

13. Appareil selon la revendication 12, caractérisé en ce que des moyens de commutation (99) sont placés dans la boucle comprenant le premier composant statique stabilisateur de tension (98) pour bloquer cette boucle lorsque la tension aux bornes du montage décroît après être passée par une valeur égale à celle du seuil de stabilisation le plus élevé  $(-U_{s4}-)$ .

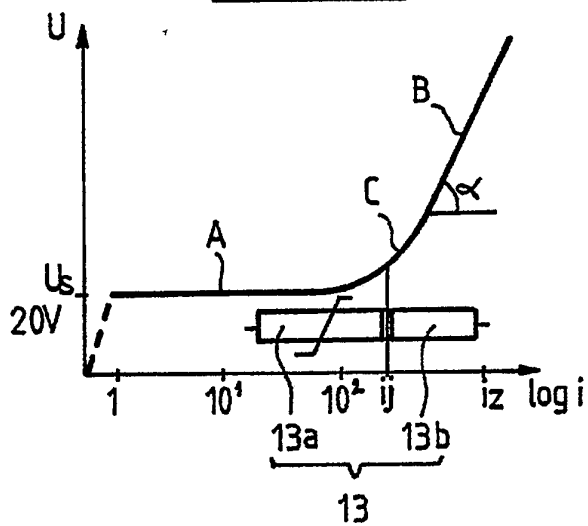
14. Appareil selon la revendication 13, caractérisé en ce que lesdits moyens de commutation placés en série avec le premier composant statique stabilisateur de tension (98, 91) font appel à une résistance à coefficient de température élevé (99), respectivement à un interrupteur statique commandé (94).



**FIG. 1**



**FIG. 3a**



**FIG. 3b**

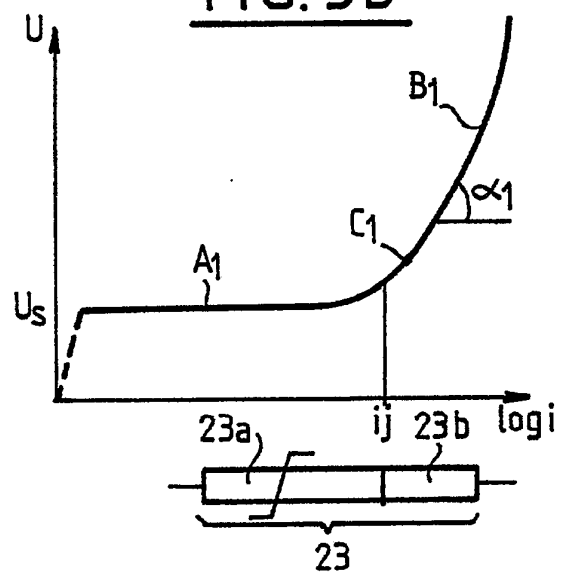


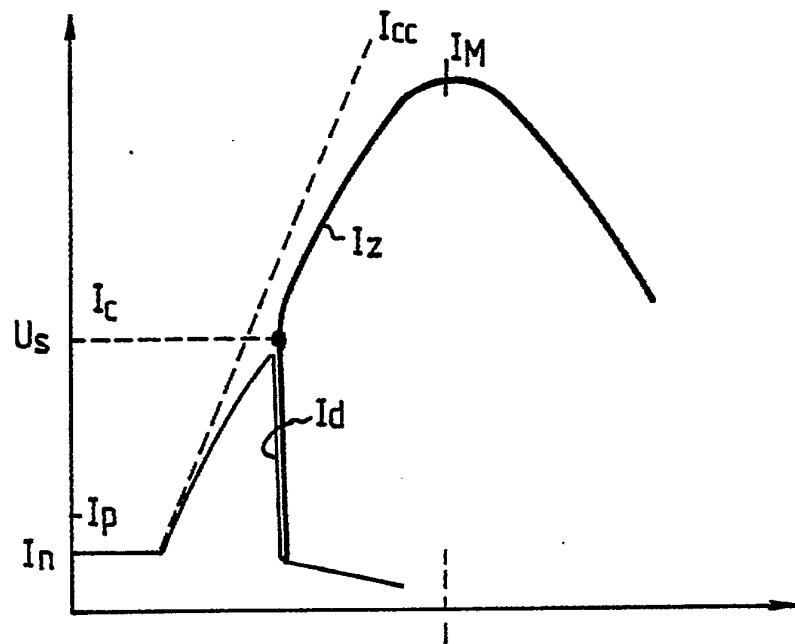
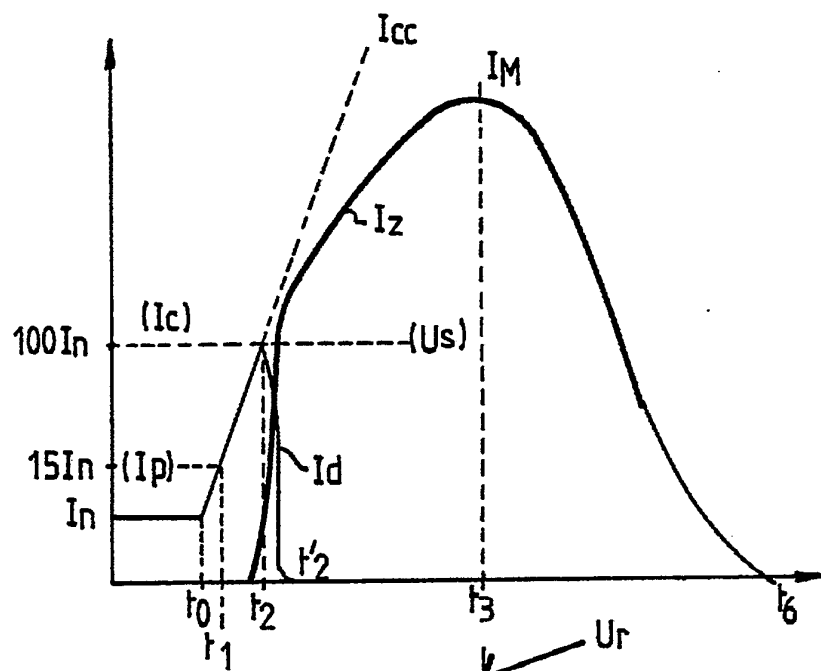
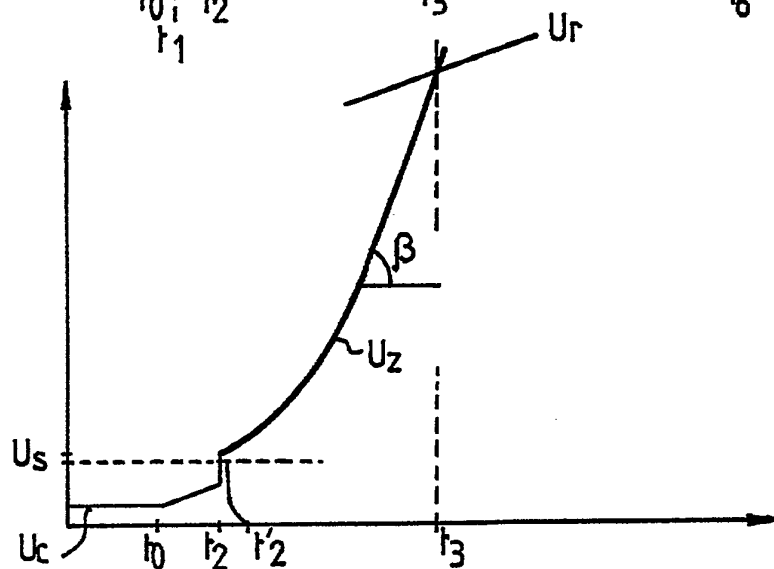
FIG. 4FIG. 7aFIG. 7b



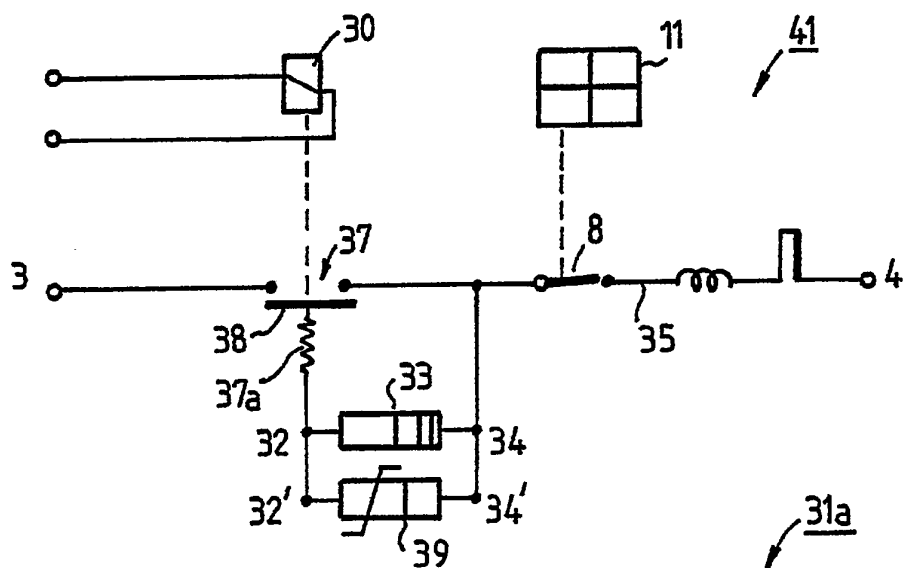
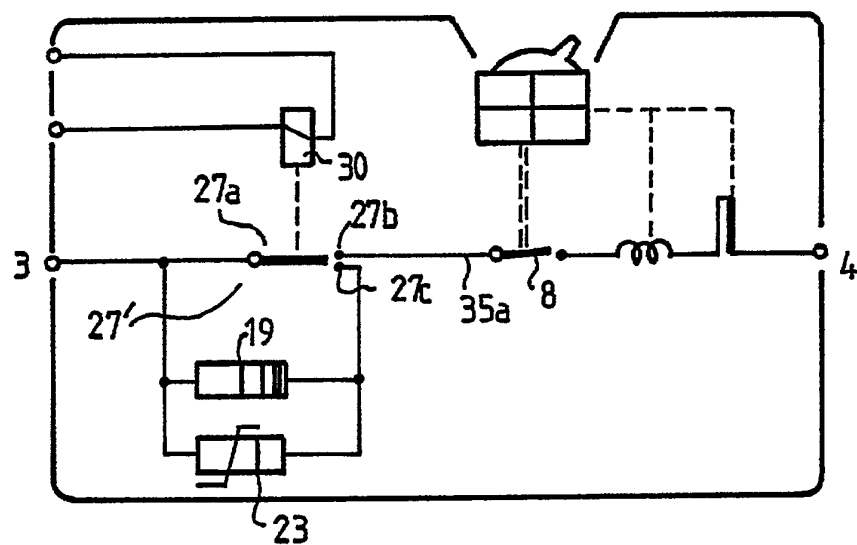
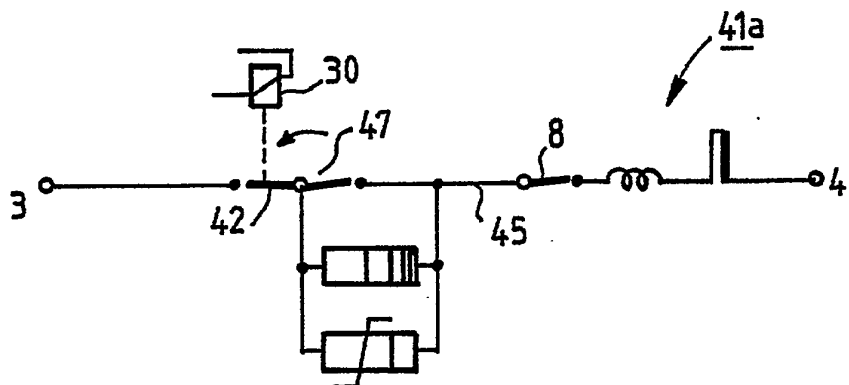
FIG. 8FIG. 9FIG. 10



FIG. 14

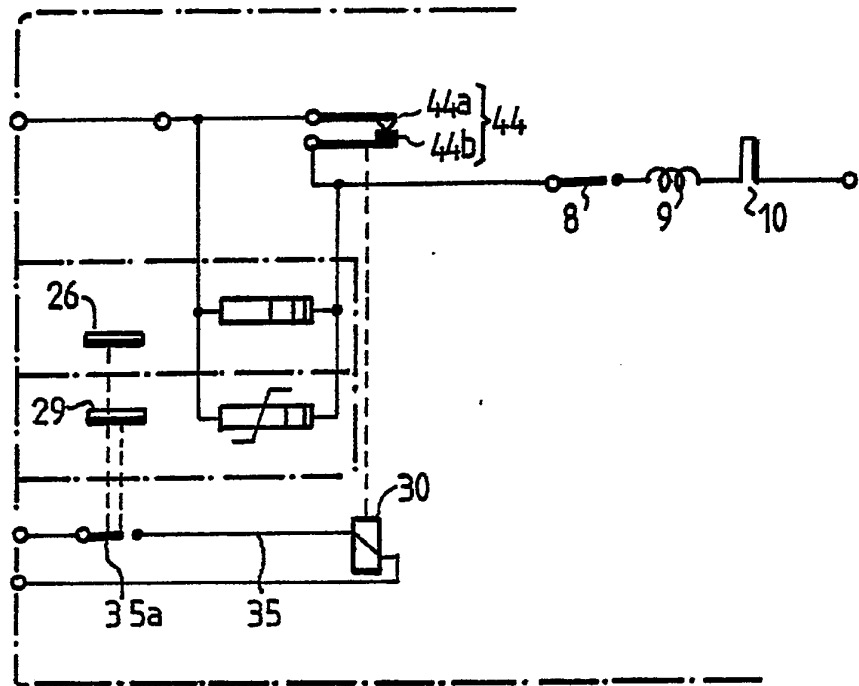


FIG. 15

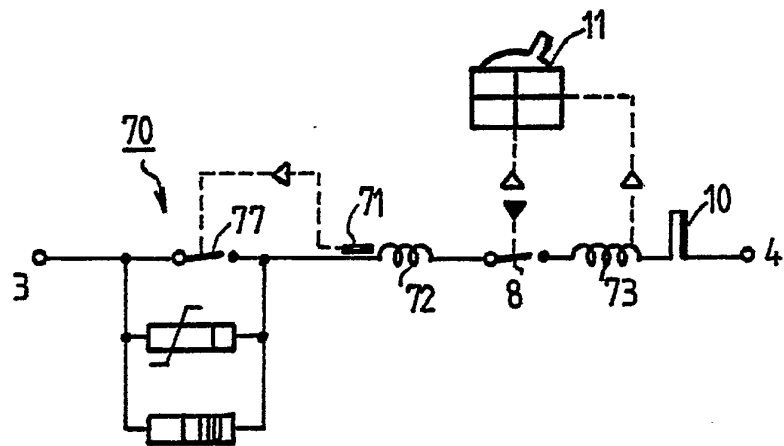


FIG. 16

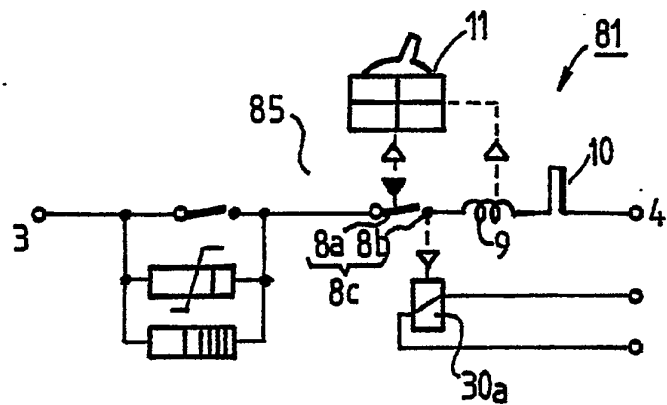


FIG. 17

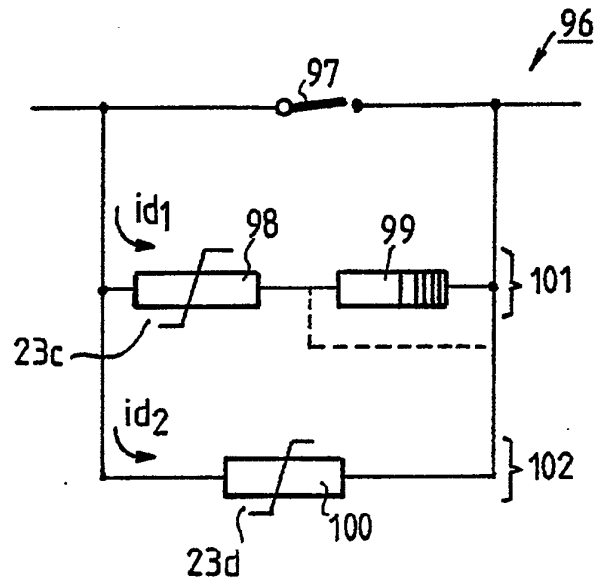


FIG. 18

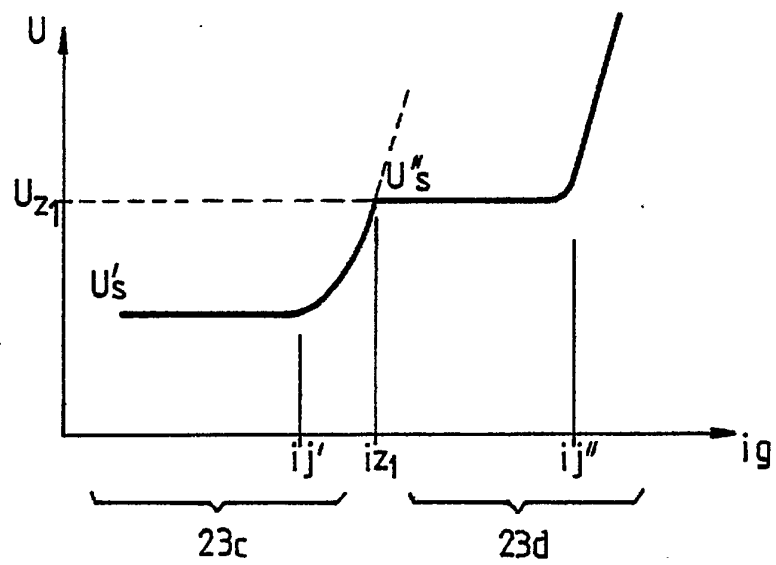


FIG. 19

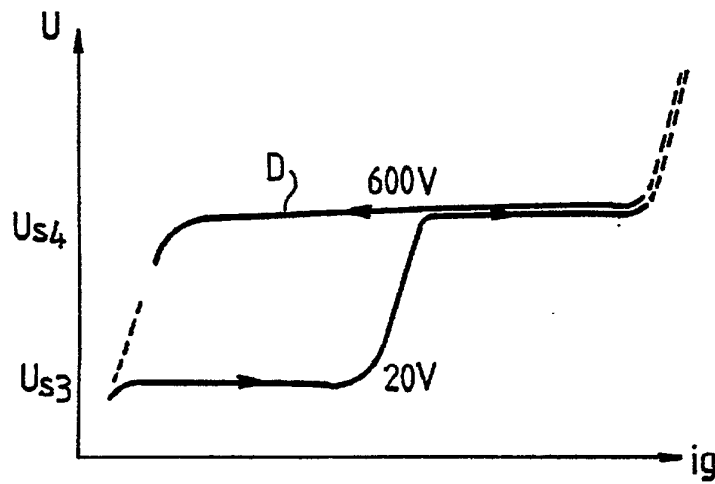


FIG. 20

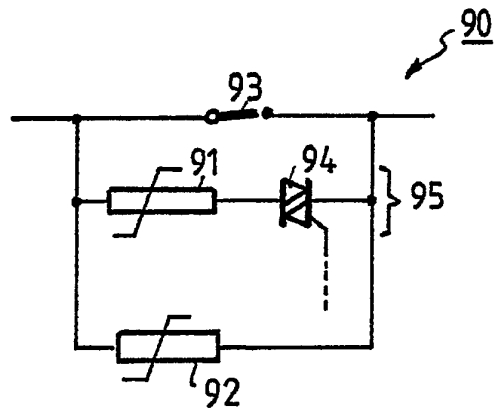


FIG. 21

