

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 556 899

(21) N° d'enregistrement national :

84 18087

(51) Int Cl<sup>4</sup> : H 02 M 5/22.

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 28 novembre 1984.

(71) Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY. — US.

(30) Priorité : US, 14 décembre 1983, n° 561.494.

(72) Inventeur(s) : Milton Dayton Bloomer.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 25 du 21 juin 1985.

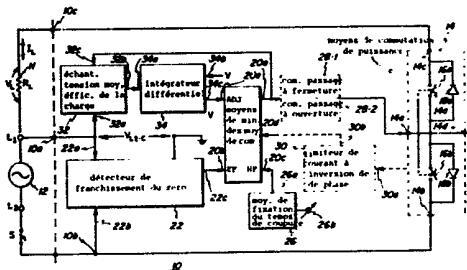
(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux appartenants :

(74) Mandataire(s) : Alain Catherine, GETSCO.

(54) Procédé et appareil pour commander la moyenne des demi-alternances ou la moyenne quadratique de la tension d'une charge.

(57) L'invention concerne un appareil et un procédé pour commander la moyenne des demi-alternances ou la moyenne quadratique de la tension appliquée à une charge 11. L'appareil comporte des moyens de commutation 14 connectés en série entre la source 12 de courant alternatif et la charge 11, des moyens de minutage 20 qui commandent les moyens de commutation pour qu'ils permettent l'écoulement du courant à travers la charge pendant au moins un intervalle de temps au cours de chaque alternance et des moyens 32, 34 qui échantillonnent la grandeur de tension aux bornes de la charge et appliquent un signal d'ajustement ADJ aux moyens de minutage afin d'ajuster l'intervalle de temps de conduction des moyens de commutation pour que la grandeur moyenne des demi-alternances ou la grandeur moyenne quadratique de la tension appliquée à la charge soit approximativement égale à une valeur voulue.



La présente invention se rapporte à des circuits de commutation de puissance alimentant une charge et elle a plus particulièrement trait à un nouveau procédé et à un nouvel appareil pour commander soit la grandeur moyenne, soit 5 la grandeur efficace d'une tension alternative appliquée aux bornes d'une charge.

Il est déjà connu de commander la grandeur d'un courant qui s'écoule à travers une charge à partir d'une source de courant alternatif au moyen d'un circuit de commande de phase utilisant soit une commande de phase directe soit une 10 commande à inversion de phase (cette dernière ayant été décrite dans la demande de brevet des EUA n° 529 296 déposée le 6 septembre 1983 au nom de l'inventeur de la présente demande et cédée à la demanderesse). Dans de nombreuses utilisations, une commande en boucle ouverte de la grandeur de 15 la tension appliquée à la charge et, par conséquent, de la puissance fournie à la charge est entièrement appropriée. Dans de nombreuses autres utilisations, par exemple, dans le cas d'un convertisseur qui sert à convertir la tension du secteur d'alimentation pour alimenter des lampes à incandescence à plus basse tension, il est souhaitable d'utiliser 20 une commande en boucle fermée de la grandeur de la tension appliquée à la charge (les lampes) et, par conséquent, de la puissance appliquée à la charge. Il est également souhaitable qu'un quelconque procédé ou appareil de commande de 25 la tension appliquée à une charge, qu'il commande la grandeur de l'écart absolu moyen (EAM) ou la grandeur de la moyenne quadratique (valeur efficace) puisse être utilisé avec un convertisseur de tension commuté ou avec un convertisseur de tension à commande de phase (que ce soit une commande directe ou avec inversion) et qu'il soit également approprié pour être utilisé avec des dispositifs de commutation de puissance placés en série entre la charge commandée 30

et une source de courant alternatif, des types à réaction ou à coupure commandée. Il est également extrêmement souhaitable qu'un appareil quelconque de commande de la grandeur de la tension appliquée à une charge soit capable de fonctionner en combinaison avec des moyens de commande de l'intensité du courant appliqué à la charge, tels que les moyens de commande de l'intensité du courant appliqué à la charge à inversion de phase de la demande de brevet des EUA précitée, qui assurent une commande de la charge lors de l'intervalle initial au cours duquel il se produit un appel de courant de forte intensité lorsqu'une charge "froide" est initialement mise sous tension.

Conformément à l'invention, il est prévu des moyens d'échantillonnage de la tension appliquée à la charge pour échantillonner la grandeur de la tension aux bornes de la charge pendant au moins l'un des intervalles de temps au cours desquels le courant de charge s'écoule pendant une alternance de la forme d'onde de la source de courant. La tension échantillonnée de la charge est comparée à un niveau de référence et la différence de grandeur entre la tension échantillonnée et la tension de référence est intégrée par rapport au temps pour produire un signal d'ajustement. Le signal d'ajustement est appliqué à des moyens servant à minuter la période de conduction des moyens de commutation de puissance, montés en série entre la charge commandée et une source de courant alternatif, en modifiant le temps de fin de conduction après chaque commencement de conduction (à chaque franchissement du zéro par la forme d'onde de la source) pour modifier celle des deux grandeurs de tension, à savoir la grandeur moyenne (EAM) de la tension ou la moyenne quadratique (valeur efficace) de la tension qui a été choisie, aux bornes de la charge de façon qu'elle ait une valeur telle que la grandeur échantillonnée de la ten-

sion de la charge soit approximativement égale à la grandeur de la tension de référence choisie.

Dans les modes de réalisation actuellement préférés, les moyens d'échantillonnage peuvent être configurés pour effectuer la commande de la grandeur de l'écart absolu moyen de la tension ou pour effectuer la commande de la moyenne quadratique de la tension par la suppression ou l'addition d'essentiellement un unique composant passif convenablement choisi, par exemple, une unique résistance. Les moyens d'échantillonnage ne sont actifs que pendant la période de conduction du courant de charge de polarité positive de la forme d'onde de la source dans le mode de réalisation effectuant la commande de l'EAM de la tension et ils sont actifs jusqu'à la fin de la période de conduction du courant de charge de polarité négative de la forme d'onde de la source dans le mode de réalisation effectuant la commande de la tension efficace (ou moyenne quadratique de la tension). Une partie de la forme d'onde de la tension de la source d'amplitude réduite est ainsi utilisée dans les moyens d'échantillonnage pour la commande de la tension efficace afin de fournir des informations supplémentaires relatives à la grandeur de la tension de la source pour commander les changements plus rapides de la grandeur de la tension efficace de la charge en fonction de la grandeur de la tension de la source. Les moyens de commutation de puissance peuvent être constitués par des dispositifs de commutation de puissance d'un type approprié quelconque et les moyens de minutage de commande peuvent être réalisés sous une configuration appropriée pour terminer la conduction du courant de charge après un intervalle maximal établi par des moyens de fixation du temps de coupure à défaut d'une coupure commandée par la tension de la charge et/ou immédiatement s'il circule un courant de charge d'intensité supérieure à

une grandeur prédéterminée (et susceptible d'endommager éventuellement la charge et/ou les moyens de commutation de puissance). Par conséquent, un but de la présente invention est de proposer un nouveau procédé pour commander la 5 grandeur de l'écart absolu moyen de la tension ou celle de la tension efficace appliquée aux bornes d'une charge connectée en série avec une source de courant alternatif.

Un autre but de la présente invention est de réaliser 10 un nouvel appareil pour commander la grandeur de l'écart absolu moyen de la tension ou celle de la tension efficace appliquée aux bornes d'une charge connectée en série avec une source de courant alternatif.

La suite de la description se réfère aux figures annexées qui représentent respectivement:

- 15 Fig. 1: un schéma-bloc d'un appareil de commande de la grandeur de la tension appliquée à une charge conformément aux principes de la présente invention;
- Fig. 1a-1d: une série de graphiques par rapport au temps qui 20 représentent les formes d'onde qui se produisent dans le circuit de la Fig. 1 pour diverses conditions présentant de l'intérêt et qui sont utiles pour faciliter la compréhension des principes de fonctionnement de la présente invention;
- 25 Fig. 2: un schéma d'un premier mode de réalisation actuellement préféré de l'appareil de la présente invention qui est particulièrement approprié pour commander la grandeur de l'écart absolu moyen (EAM) de la tension de la charge;
- Fig. 3: un schéma d'un autre mode de réalisation actuellement préféré de l'appareil de la présente invention qui est particulièrement approprié pour commander 30 la grandeur de la tension efficace de la charge;
- Fig. 3a-3d: une série de graphiques par rapport au temps qui

représentent plusieurs formes d'onde observables dans le circuit de la Fig. 3 et utiles pour faciliter la compréhension des principes de ce circuit;

Fig. 3e: un graphique qui représente le changement de la tension de la charge en fonction d'un changement de la tension de la source (entre les deux conducteurs de la ligne) respectivement dans le cas du circuit qui commande la grandeur de l'écart absolu moyen de la tension et dans le cas du circuit qui commande la grandeur de la moyenne quadratique de la tension (ou tension efficace) appliquée à la charge.

Comme représenté sur les Fig. 1et 1a-1c auxquelles on se référera tout d'abord, un appareil 10 de commande de la grandeur de la tension appliquée à une charge est connecté, par la fermeture d'un interrupteur S, en série avec une résistance de charge 11 d'une grandeur de résistance de charge nominale  $R_L$  aux bornes d'une source 12 de courant alternatif. La tension de la source est disponible à des première et seconde bornes  $L_1$  et  $L_2$  de la ligne qui sont respectivement connectées à des première et seconde bornes d'entrée 10a et 10b de l'appareil de commande. La charge résistive 11 est connectée entre l'une des bornes de ligne de la source, par exemple la borne  $L_1$  et une autre borne 10c du circuit de commande 10. La charge 11 n'a, typiquement, besoin que d'une tension efficace ou d'une tension moyenne  $V_L$ , à savoir la tension entre les bornes 10a et 10c, inférieure à la tension  $V_{L1-L2}$  entre les conducteurs de la source qui existe entre les bornes 10a et 10b. La tension  $V_{L1-L2}$  entre les conducteurs de la source est typiquement une forme d'onde sinusoïdale de tension (Fig. 1a) qui a, aux Etats-Unis, une fréquence d'environ 60 Hz et une valeur de crête  $V_p$  d'environ 163 volts pour le potentiel de 115 volts efficaces normalisé utilisé pour la plupart des réseaux de distribution résiden-

tiels et pour le petit commerce. Une charge résistive illustrative 11 peut être une lampe à incandescence basse tension qui nécessite une grandeur de tension de charge moyenne/efficace d'environ 30 volts. L'appareil 10 de commande de la 5 grandeur de la tension doit, par conséquent, fonctionner de manière à commander la tension moyenne/efficace appliquée à la charge de façon qu'elle ait une grandeur inférieure à celle de la source.

Les moyens 10 de commande de la tension appliquée à 10 une charge comportent des moyens 14 de commutation de puissance qui comprennent une borne de commande d'entrée 14a pour commander la connexion des bornes 14b et 14c de connexion de la charge entre elles et au potentiel neutre du circuit appliqué à une borne 14d des moyens de commutation 15 de puissance. Les bornes 14b et 14c des moyens de commutation de puissance sont respectivement individuellement connectés à la borne 10b du second conducteur  $L_2$  de la source de courant et à la borne 10c de connexion de la charge, ou vice-versa. Les moyens 14 de commutation de puissance comprennent des premier et second moyens de commutation 16a et 16b qui comportent des circuits de conduction de courant primaires qui sont commandés par le signal appliqué à l'entrée de commande 14a pour connecter la borne respectivement correspondante 14c ou 14b à la borne neutre 14d du circuit. Les 20 moyens de commutation de puissance 14 comportent également une paire de dispositifs à conduction unidirectionnelle 18a et 18b dont chacun est connecté en parallèle avec le circuit de conduction primaire du dispositif de commutation commandé 16a ou 16b qui lui correspond et qui sont orientés de 25 telle sorte qu'ils permettent respectivement au courant de s'écouler depuis la borne 14d, au potentiel neutre, jusqu'à la borne de conduction principale correspondante 14c ou 14b. On comprendra que les dispositifs de commutation 16a et 16b

peuvent être choisis dans une large gamme de dispositifs de coupure à réaction et commandés, dont un grand nombre, tels que les transistors à porte isolée, les redresseurs à porte isolée, les transistors à effet de champ MOS de puissance et analogues ont une diode inversement polarisée 18 formée en parallèle avec leur circuit de conduction commandé en tant qu'élément parasite. Ainsi, d'une manière générale, les moyens de commutation de puissance 14 peuvent être constitués par une paire de dispositifs de commutation de puissance ayant des caractéristiques nominales appropriées pour pouvoir fonctionner avec les tensions et intensités moyennes et pour pouvoir résister aux tensions et intensités de crête, pour la charge particulière en cause et ayant des caractéristiques de fonctionnement appropriées pour satisfaire aux autres conditions de fonctionnement supplémentaires que l'on décrira ci-après en détail.

Le signal de commande des moyens de commutation, appliquée à la borne d'entrée 14a est établi de telle sorte qu'un des moyens de commutation 16a ou 16b ne conduit que pendant une partie d'une demi-alternance correspondante de la forme d'onde de la tension de la source 12. Le moment auquel l'un ou l'autre des dispositifs de commutation 16a et 16b est "fermé" ou mis à l'état de conduction du courant et le moment auquel ce dispositif conducteur est "ouvert" ou mis à l'état non conducteur sont commandés par le signal produit à la borne de sortie 20a de moyens 20 de minutage des moyens de commutation. Avantageusement, les moyens 20 de minutage des moyens de commutation mettent en fonction la sortie 20a en réponse à la réception d'un signal de mise en fonction appliquée à une premier entrée "EF" 20b desdits moyens et mettent hors fonction la sortie 20a de signal en réponse à la réception d'un signal de mise hors fonction appliqué à une seconde entrée HF 20c des moyens 20. Des moyens 22 de détec-

tion du franchissement du zéro comprennent des première et seconde entrées 22a et 22b qui sont respectivement connectées à la borne d'entrée 10a et à la borne d'entrée 10b de l'appareil de commande de la tension appliquée à une charge  
5 (et, de ce fait, respectivement, à la borne  $L_1$  et à la borne  $L_2$  de la ligne de la source) pour produire une impulsion de sortie à une borne de sortie 22c des moyens de détection en réponse à chacun des franchissements du zéro par la forme d'onde de la tension de la source qui se produisent aux  
10 points 24a-24g de la forme d'onde 24 de la tension  $V_{L1-L2}$  de la source, Fig. 1a. Chaque impulsion de franchissement du zéro produite à la borne de sortie 22c des moyens de détection est appliquée à la première entrée de mise en fonction EF 20b des moyens 20 de minutage des moyens de commutation.  
15 Des moyens 26 de fixation du temps de coupure produisent à leur sortie 26a un signal qui est appliqué à la seconde entrée de mise hors fonction HF 20c des moyens de minutage des moyens de commutation, signal de fixation du temps de coupure qui peut être réglé au moyen d'une commande associée 26b de  
20 façon qu'il se produise un certain temps minimal après l'apparition de chaque impulsion de mise en fonction à l'entrée 20b des moyens de minutage des moyens de commutation. L'effet des moyens 22 de détection et des moyens 26 de fixation du temps de coupure, en combinaison avec les moyens 20 de  
25 minutage des moyens de commutation est de mettre en fonction le signal de la sortie 20a des moyens de minutage à chaque franchissement du zéro par la forme d'onde de la source et de mettre hors fonction le signal de la sortie 20a un certain temps après et avant le franchissement du zéro immédiatement suivant de la forme d'onde de la tension de la source.  
30 Selon les dispositifs de commutation de puissance particuliers utilisés 16, le signal produit à la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation peut être ap-

pliqué à un circuit 28a de commande de passage à la fermeture (ou à l'état conducteur) et/ou à un circuit 28b de commande de passage à l'ouverture (ou à l'état non conducteur) de manière à produire les caractéristiques de tension/intensité appropriées du signal de commande à la borne 14a d'entrée de commande des moyens de commutation de puissance. Si désiré, l'"appel de courant" maximal de la charge peut être limité ou les dispositifs de commutation de puissance peuvent être protégés contre une dissipation excessive par des moyens 5 limiteurs de courant qui comportent au moins une entrée 30a connectée aux moyens 14 de commutation de puissance et une sortie 30b connectée à une entrée de coupure auxiliaire 20d des moyens 20 de minutage des moyens de commutation. Plus particulièrement, dans le cas où les moyens 14 de commutation de puissance utilisent des dispositifs de commutation 16 à semi-conducteur d'un type qui doit rester saturé pendant les intervalles de temps de conduction de courant, les moyens 30 peuvent être les moyens de commande du courant à inversion de phase décrits dans la demande de brevet des 10 Etats-Unis précitée qui servent à interrompre (à mettre hors fonction) le signal de la sortie 20a des moyens 20 de minutage des moyens de commutation si le dispositif de commutation 16 en cause n'est plus à l'état saturé. Bien qu'on doive les décrire ci-après d'une manière relativement détaillée, les moyens 28a et 28b de commande de passage à l'ouverture et à la fermeture ont été décrits en plus de détail dans la demande de brevet des EUA n° 499 579, déposée le 31 mai 1983 au nom de l'inventeur de la présente demande, et les moyens 20 de minutage des moyens de commutation, les 15 moyens 22 de détection du franchissement du zéro et les moyens 26 de fixation du temps de coupure ont tous été décrits en plus de détail dans la demande de brevet des EUA n° 529 296 déjà citée. Il est bien entendu que l'on peut 20 25 30

utiliser des modes de réalisation des divers moyens ci-dessus mentionnés différents de ceux plus particulièrement décrits dans les demandes de brevet des EUA précitées sans sortir du cadre de la présente invention.

5 Conformément à la présente invention, des moyens 32 d'échantillonnage de la tension appliquée à la charge comprennent une borne d'entrée 32a couplée, par l'intermédiaire de la borne d'entrée 10a de l'appareil, à la borne du conducteur  $L_1$  de la ligne connectée à la charge 11 pour permettre  
10 que soit produit à la sortie 32a un échantillon de la tension entre le conducteur  $L_1$  et le potentiel neutre du circuit,  $V_{L1-C}$ , en réponse à un signal de commande d'échantillonnage appliqué à une entrée de commande 32c. La valeur "moyenne" (écart absolue moyen, EAM) où valeur moyenne quadratique (valeur efficace) de la tension appliquée à la charge échantillonnée par les moyens 32 est produite en tant que signal de la sortie 32b et appliquée à l'entrée 34a  
15 d'échantillon de tension de la charge de moyens intégrateurs différentiels 34. Un potentiel de référence  $V_{réf}$  est appliquée à une seconde entrée 34b des moyens intégrateurs différentiels. Le signal produit à la sortie 34c des moyens 34, qui varie comme l'intégrale par rapport au temps de la différence entre la tension échantillonnée  $V_s$  et la tension de  
20 référence  $V_{réf}$  est fourni en tant que tension d'ajustement  
25  $V_{adj}$  à une entrée d'ajustement 20a des moyens 20 de minutage des moyens de commutation.

Tant que le signal d'échantillon de la tension de la charge produit à la sortie 22c des moyens d'échantillonnage a une grandeur égale à la grandeur de la tension de référence appliquée à l'entrée 34b des moyens intégrateurs, la tension d'ajustement, appliquée à l'entrée 20c des moyens de minutage des moyens de commutation, n'a aucun effet sur la mise à l'état conducteur et à l'état non conducteur des

moyens 14 de commutation de puissance. Si les moyens 32 échantillonnent une tension de la charge inférieure à la grandeur voulue, grandeur voulue qui est établie par la grandeur de la tension de référence appliquée à l'entrée 34b des moyens intégrateurs, la grandeur de la tension d'ajustement appliquée à l'entrée 20c des moyens de minutage des moyens de commutation s'accroît, ce qui a pour effet de mettre en fonction le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation (si tous les autres facteurs de temps de coupure, tels que ceux établis par les moyens 26 et/ou 30 (s'ils sont utilisés) n'ont pas changé) pendant un plus long intervalle de temps afin d'accroître la tension effective appliquée à la charge. Inversement, si les moyens 32 d'échantillonnage de la tension de la charge détectent une tension de la charge supérieure à la valeur voulue établie par la tension de référence appliquée à l'entrée 34b des moyens intégrateurs, la grandeur de la tension d'ajustement appliquée à l'entrée 20b des moyens de minutage des moyens de commutation diminue pour diminuer l'intervalle de temps pendant lequel le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est en fonction (tous les autres facteurs de temps de coupure étant inchangés) et provoquer l'interruption par les moyens 14 de commutation de puissance du trajet de conduction de courant après un plus court intervalle de temps de façon ainsi à réduire la grandeur moyenne/efficace de la tension appliquée aux bornes de la charge 11.

On a représenté cette séquence d'opérations pour le fonctionnement sur la base de la tension moyenne (EAM) sur les Fig. 1b et 1c. Dans le cas où la tension moyenne voulue de la charge est appliquée à la charge (cas représenté par les formes d'onde de gauche), le franchissement du zéro, par exemple le franchissement du zéro dans le sens positif 24a

représenté sur la Fig. 1a, est détecté par les moyens 22 et provoque la fermeture du dispositif de commutation supérieure 16a au début de la demi-alternance de polarité positive de la forme d'onde de la source. Ainsi, la borne  $L_1$  5 de la ligne est positive par rapport à la borne  $L_2$  de la ligne et la diode 18b est conductrice de sorte que la borne  $L_2$  de la ligne est approximativement au potentiel neutre du circuit (en admettant que la chute de tension dans le sens direct de la diode est bien inférieure à la grandeur de 10 crête de la tension de la source 12, comme ceci est le cas dans l'exemple représenté). Lorsque la tension positive applique à la borne  $L_1$  de la ligne s'accroît, le courant de la charge,  $I_L$ , s'écoule à partir de la borne  $L_1$  à travers la charge 11 jusqu'à la borne 10c puis à travers le dispositif 15 de commutation 16a fermé et la diode 18b directement polarisée jusqu'à l'autre borne  $L_2$  de la ligne. Le courant de la charge,  $I_L$ , (Fig. 1c) comporte une partie 40a de forme d'onde qui croît suivant une sinusoïde. A un certain temps de coupure  $t_1$  après le temps  $t_0$  de passage à la fermeture 20 au franchissement du zéro dans le sens positif initial (temps de coupure  $t_1$  qui est normalement établi lors du fonctionnement en régime stabilisé par les moyens 26 de fixation du temps de coupure), le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est mis 25 hors fonction et les moyens de commutation supérieurs 16a s'ouvrent de sorte que le courant de la charge baisse brusquement, comme indiqué par la partie 40b de la forme d'onde  $I_L$  du courant de la charge. Le courant de la charge reste à une grandeur essentiellement nulle pendant la partie 40c 30 restante de la demi-alternance de polarité positive de la source. La tension  $V_{L1-C}$  entre la borne  $L_1$  de la ligne et le neutre du circuit s'est également accrue suivant une courbe sinusoïdale pendant une première partie 42a (Fig. 1 b)

au cours de laquelle le courant de la charge était présent. Même après l'arrêt du flux de courant, au temps  $t_1$ , la tension entre la borne  $L_1$  de la charge et le point neutre ne se termine pas brusquement de la manière qui serait représentée par la ligne en traits interrompus 42b mais continue à suivre la forme d'onde sinusoïdale de la tension 24 de la source, comme représenté par la partie 42c de la forme d'onde de la tension entre la borne  $L_1$  de la ligne et le neutre jusqu'au franchissement suivant, dans le sens négatif, du zéro, au temps  $t_0^-$ . A ce franchissement suivant, dans le sens négatif, du zéro, 24b, (Fig. 1a) l'entrée 20b des moyens de minutage des moyens de commutation reçoit une autre impulsion de franchissement du zéro et met à nouveau en fonction le signal de la sortie 20a de façon à faire passer à l'état conducteur le dispositif de commutation 16 approprié c'est-à-dire, dans ce cas, le dispositif de commutation inférieur 16b. Pendant la demi-alternance de polarité négative de la forme d'onde de tension de la source, la seconde borne  $L_2$  de la ligne est positive par rapport à la première borne  $L_1$  de la ligne de sorte que la diode supérieure 18a est directement polarisée et que la borne de commande 10c est approximativement à la tension neutre. Le courant de la charge,  $I_L$ , s'écoule à partir de la borne  $L_2$  de la ligne, à travers les moyens de commutation 16b fermés et la diode 18a directement polarisée puis à travers la charge 11 jusqu'à la borne  $L_1$  de la ligne connectée à la charge avec une partie 40d s'accroissant négativement suivant une courbe sinusoïdale (Fig. 1c). A un certain temps  $t_2$  suivant, déterminé par les moyens 26 de fixation du temps de coupure, le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est mis hors fonction, ce qui provoque l'ouverture des moyens de commutation inférieurs 16b et la brusque interruption du courant de la charge, comme indiqué

par la partie 40e du courant de la charge  $I_L$  jusqu'à une grandeur à peu près nulle, le courant de la charge restant à la grandeur à peu près nulle, comme représenté par la partie 40f, jusqu'à la mise en fonction suivante des moyens  
5 14 de commutation de puissance provoquée par le franchissement suivant du zéro. En même temps, la tension  $V_L$  aux bornes de la charge suit approximativement la tension entre la borne  $L_1$  de la ligne et le neutre,  $V_{L1-C}$ , et commence à s'accroître suivant une courbe sinusoïdale dans le sens négatif, comme représenté par la partie 42d de la forme d'onde. Lorsque le dispositif de commutation inférieur 16b s'ouvre et que le flux de courant est interrompu, la tension de la charge  $V_L = R_L \times I_L$  tombe approximativement à zéro (partie 42e); étant donné que la tension présente à la borne 10c est  
10 encore une chute de tension de diode inférieure à la tension neutre, la tension à la borne  $L_1$  de la ligne est forcée à la tension de la borne 10c et, ainsi, elle diminue brusquement, comme représenté par la partie 42e, de sorte que la tension entre la borne  $L_1$  de la ligne et le neutre,  $V_{L1-C}$ , reste à une grandeur sensiblement nulle, comme représenté par la partie  
15 42f, pendant le reste de la demi-alternance de polarité négative de la forme d'onde de la source. Ainsi, la tension moyenne de la charge est fonction de la somme des surfaces 44a et 44b situées respectivement au-dessous des parties 42a et 42d de la forme d'onde de tension. L'intégrateur de la tension entre la borne  $L_1$  de la ligne et le neutre,  $V_{L1-C}$ , entre le temps  $t_0^+$  et le temps  $t_1$ , et entre le temps  $t_0^-$  et le temps  $t_2$ , produit la grandeur EAM de la tension de la charge. Etant donné que les temps de coupure  $t_1$  et  $t_2$  sont,  
20 dans le cas du fonctionnement normal représenté, commandés par les moyens 26 de façon à être approximativement égaux, toute intégration des surfaces au-dessous de la courbe effectuée sur une pleine alternance aurait une valeur moyenne  
25  
30

égale à zéro et nécessiterait l'emploi d'un intégrateur dont le signal de sortie puisse faire des excursions à la fois dans le sens de polarité positive et dans le sens de polarité négative. Pour simplifier le circuit, de façon à utiliser, par exemple, des moyens intégrateurs 34 qui n'ont que des tensions de sortie de polarité positive, on peut voir que les parties de courbe 42a et 42d sont approximativement symétriques et que les surfaces 44a et 44b sont approximativement égales de sorte que l'on n'intègre qu'une seule des surfaces, à savoir la surface 44a, pendant la demi-alternance de polarité positive de la forme d'onde de tension de la source et lorsque le dispositif de commutation supérieur 16a est conducteur pour déterminer la grandeur EAM de la tension de la charge. Une tension de référence de polarité positive appliquée à l'entrée 34b peut alors être rendue égale à la tension moyenne voulue à la sortie 32c des moyens d'échantillonnage et l'intégrale par rapport au temps de la différence entre la tension échantillonnée produite à la sortie 32b et la tension de référence a une grandeur approximativement nulle de sorte que la tension d'ajustement produite à la sortie 34c a également une grandeur approximativement fixe; aucun changement de cette grandeur ne se produit tant que la grandeur EAM de la tension de la charge reste constante et aucun changement dans le temps de mise hors fonction du signal de la sortie 29a des moyens de minutage des moyens de commutation ne se produit.

Dans le cas représenté par la série intermédiaire de formes d'onde, les temps  $t_3$  et  $t_4$  respectivement après le temps  $t_0^+$  de franchissement du zéro dans le sens positif et après le temps  $t_0^-$  de franchissement du zéro dans le sens négatif sont plus grands que les temps respectifs  $t_1$  et  $t_2$  dans le cas où la tension appliquée à la charge est la tension voulue (partie de gauche). Les parties 40a' et 40d' de polarité positive et de polarité négative qui croissent de manière sinusoïdale existent pendant un plus long intervalle de temps

de sorte que le courant de crête  $I_L$  de la charge est supérieur à ce qu'il est dans le cas de la tension voulue et que la tension de crête à la fin des parties correspondantes 42a' et 42d' de la forme d'onde de tension est également plus grande que la tension de crête à la fin des intervalles de conduction de courant dans le cas où la tension voulue est produite. Par conséquent, les surfaces égales 44a' et 44a' sous la courbe de tension sont plus grandes et la surface intégrée 44a' au-dessous de la demi-alternance de polarité positive produira, après comparaison avec la tension de référence établie pour la grandeur EAM de la tension voulue de la charge et après intégration, une tension d'ajustement  $V_{adj}$  à la sortie 34c des moyens d'intégration et à l'entrée 20e des moyens de minutage des moyens de commutation d'une grandeur inférieure à la grandeur de la tension d'ajustement produite dans le cas où la tension moyenne échantillonnée de la charge est égale à la tension de référence, comme précédemment décrit. Cette tension diminuée appliquée à l'entrée 20e diminue le temps, après le temps auquel une impulsion de franchissement du zéro apparaît à la première entrée EF 20b, auquel le signal de la sortie 20a est mis hors fonction, en fonctionnant en combinaison avec les moyens 26 de fixation du temps de coupure mais indépendamment du signal de coupure des moyens 30 limiteurs de courant, ce signal des moyens 30 limiteurs de courant pouvant se produire avant ou après le signal de coupure des moyens 32, 34 et 26 au cours de l'alternance en cause de la forme d'onde de la source. Les moyens 32 et 34 fonctionnent de manière à provoquer, au cours de l'alternance suivante de la forme d'onde de la source, l'arrêt par les moyens de minutage des moyens de commutation du courant de la charge aux temps indiqués par la marque 40x (pour la demi-alternance de polarité positive) et par la marque 40y (pour la demi-alternance de polarité négative) afin de réduire le temps (pendant lequel le cou-

rant de la charge s'écoule et la tension est présente aux bornes de la charge) d'un facteur  $\Delta t$  et de réduire ainsi la grandeur EAM de la tension de la charge. Si la réduction  $\Delta t$  du temps de conduction du courant de la charge est 5 d'une grandeur insuffisante, la différence intégrée entre l'échantillon de tension et la charge et la tension de référence, au cours d'une alternance immédiatement suivante de la forme d'onde de la source, changera la tension d'ajustement appliquée à l'entrée 22d des moyens de minutage des 10 moyens de commutation afin de provoquer une réduction plus importante du temps de conduction du courant, réduisant à nouveau la grandeur EAM de la tension de la charge et continuera de réduire cette grandeur au cours des alternances suivantes jusqu'à ce que la grandeur EAM de la tension de la 15 charge échantillonnée appliquée à l'entrée 34a des moyens intégrateurs soit égale à la grandeur de la tension de référence appliquée à l'entrée 34b.

De la même manière, comme représenté dans les parties droites des Fig. 1b et 1c, si le courant de la charge est 20 coupé aux temps respectifs  $t_5$  et  $t_6$  respectivement avant les temps requis  $t_1$  et  $t_2$  après les temps respectifs de franchissement du zéro dans le sens positif et dans le sens négatif  $t_0^+$  et  $t_0^-$ , les parties 40a" et 40d" du courant de la charge atteignent une plus petite grandeur de même que les parties 25 42a" et 42d" de la courbe de la grandeur de tension échantillonnée de sorte que les surfaces 44a" et 44b" situées au-dessous d'elles sont plus petites. La partie 42a" de la courbe de tension de la demi-alternance de polarité positive de la source qui est échantillonnée, lorsqu'elle est comparée à la 30 tension de référence et que la différence est intégrée, produit une valeur accrue de la tension d'ajustement  $V_{adj}$  appliquée à l'entrée 20e des moyens de minutage des moyens de commutation qui est plus grande que la valeur nominale de cette

tension et qui a pour effet que les moyens 26 de fixation du temps de coupure maintiennent le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation en fonction au cours de l'alternance suivante de la forme d'onde 5 de la source pendant un temps supplémentaire  $\Delta t'$  après les temps  $t_5$  et  $t_6$  auxquels les moyens 26 de fixation du temps de coupure auraient commandé la mise hors fonction du signal de la sortie 20a des moyens de minutage si la tension d'ajustement  $V_{adj}$  avait eu la valeur nominale. Ainsi, le courant 10 continue de s'écouler pendant une partie supplémentaire de la partie 42c" jusqu'à sa coupure au point 40b+ et l'échantillonnage de tension de la charge continue jusqu'au temps ( $t_5 + \Delta t'$ ) qui se termine à la partie 42b+ en traits interrompus. La grandeur EAM de la tension de la charge s'accroît 15 et continue de s'accroître au cours des alternances suivantes de la forme d'onde de la source jusqu'à ce que la tension échantillonnée soit approximativement égale à la tension de référence et que la tension d'ajustement cesse de changer.

Ainsi, la grandeur EAM de la tension de la source est 20 commandée, de la manière décrite ci-dessus, à une valeur "moyenne" établie par la grandeur de la tension de référence  $V_{ref}$  appliquée à l'entrée 34b des moyens intégrateurs différentiels.

On a représenté sur la Fig. 2 (un mode de réalisation 25 actuellement préféré de l'appareil 10 conçu pour commander la grandeur EAM de la tension de la charge. Un certain nombre de modes de réalisation différents peuvent être utilisés pour constituer les moyens 14 de commutation de puissance; on peut, notamment, utiliser des transistors à effet de champ de puissance (TEC de puissance), par exemple, comme représenté sur la Fig. 3; des transistors bipolaires de puissance; des redresseurs à porte isolée; des transistors à porte isolée, par exemple, comme représenté sur la Fig. 2 et

des dispositifs de coupure commandés similaires. Dans les modes de réalisation représentés, qui utilisent un système de commande à inversion de phase, uniquement à titre d'illustration, les moyens de commutation de puissance peuvent être constitués par des moyens quelconques susceptibles d'être fermés pour conduire un courant alternatif et d'être ensuite ouverts pour cesser la conduction de ce courant avec une tension non nulle appliquée aux bornes de ces moyens et un courant non nul s'écoulant jusqu'à ces moyens. Ainsi, comme représenté sur la Fig. 2, les moyens 14 de commutation de puissance peuvent comporter deux transistors à porte isolée 16a et 16b dont les trajets source-drain de conduction du courant sont connectés en série entre les bornes 14b et 14c des moyens de commutation et dont les électrodes (portes) de commande sont connectées en parallèle à l'entrée de commande 14a. Chacune des électrodes de source des transistors à porte isolée est connectée à la borne neutre 14d du circuit de même que les anodes des diodes 18a et 18b à conduction en sens inverse dont chacune est connectée en parallèle avec le trajet de conduction commandé du dispositif 16a ou 16b auquel elle est associée.

Des moyens 22 détecteurs du franchissement du zéro sont utilisés dans les deux modes de réalisation des Fig. 2 et 3. La première entrée 22a du détecteur est connectée par l'intermédiaire d'une résistance chutrice série 50 à l'entrée + non inverseuse 52a d'un premier comparateur 52. La seconde entrée 22b du détecteur du franchissement du zéro est connectée par l'intermédiaire d'une autre résistance chutrice 54 à l'entrée - inverseuse 52b du comparateur. Des première et seconde diodes de protection 56a et 56b ont toutes deux leur anode connectée au neutre du circuit et leur cathode connectée à une entrée respective 52a ou 52b du comparateur. Deux autres diodes de protection 56c et 56d ont leur cathode

connectée à un potentiel de fonctionnement +V et leur anode connectée à une entrée respective 52a ou 52b du comparateur. Le potentiel de fonctionnement est fourni par une source 58 qui comporte un condensateur 58a monté en parallèle avec une diode de Zéner 58b ayant une tension de Zéner de +V volts; lorsque la borne d'entrée  $L_2$  est positive par rapport au neutre du circuit et d'une grandeur quelque peu supérieure à +V volts, le courant s'écoule à travers la résistance 54 et la diode 56d directement polarisée pour charger le condensateur 58a à la tension maximale +V établie par la diode de Zéner 58b. De même, lorsque la borne  $L_1$  est positive par rapport au neutre du circuit, le courant s'écoule à travers la résistance 50 et la diode 56c pour charger également le condensateur 58a.

A chaque franchissement du zéro de la tension entre les bornes  $L_1$  et  $L_2$ , la tension produite à une première sortie 52c du comparateur change brusquement d'amplitude. Ce changement d'amplitude est directement appliqué à une première entrée 60a d'une porte NI exclusif 60 qui reçoit sur son autre entrée 60b une version du changement d'amplitude retardée par l'action d'un circuit à retard 162 (qui comporte une résistance série 162a et un condensateur 162b en parallèle). Ainsi, à chaque franchissement du zéro par la forme d'onde de la tension d'entrée, les entrées 60a et 60b sont à des amplitudes différentes pendant un court instant dont la durée dépend du retard introduit par les moyens à retard 162, et le signal de la sortie 60c de la porte passe d'un haut niveau de tension de repos à un bas niveau de tension, produisant ainsi une impulsion en réponse au franchissement du zéro. Cette impulsion produite à la sortie 22c du détecteur du franchissement du zéro est appliquée à la première entrée EF de mise en fonction 20b des moyens de minutage des moyens de commutation.

Les moyens 20 de minutage des moyens de commutation utilisent un minuteur formé par un circuit intégré, tel que le circuit intégré 7555 normalisé ou analogue. Le minuteur 62 formé par un circuit intégré reçoit une tension de fonctionnement +V sur une borne 62-8 par rapport au neutre du circuit qui lui est appliquée sur une autre borne 62-1. La borne d'entrée de déclenchement 62-2 est connectée à la première entrée EF 20b des moyens de minutage des moyens de commutation et reçoit les impulsions de franchissement du zéro, dans le sens négatif, des moyens 22 de détection du franchissement du zéro. En réponse à chaque impulsion dans le sens négatif appliquée à l'entrée 20b, une borne de sortie 62-3 connectée à la sortie 20a des moyens de minutage passe à un haut niveau de tension de sortie. Une borne de seuil 62-6 et une borne de décharge 62-7 sont connectées en parallèle à la seconde entrée HF 20c des moyens de minutage des moyens de commutation tandis qu'une borne d'ajustement 62-5 est connectée à une entrée ADJ 20e d'ajustement des moyens de minutage des moyens de commutation. Les moyens 26 de fixation du temps de coupure comprennent un condensateur de minutage 64 connecté entre la sortie 26a, laquelle est elle-même connectée à l'entrée 20c des moyens de minutage des moyens de commutation, et la masse, et une résistance de minutage 66 connectée entre la source de tension de fonctionnement +V et la sortie 26a des moyens de fixation du temps de coupure. Si la résistance 66 est une résistance variable, comme indiqué par la flèche qui la coupe, le potentiomètre résultant sert de moyens d'ajustement variables du temps de coupure. Ainsi, lorsque les moyens de minutage 20 reçoivent sur leur entrée 20b l'impulsion allant dans le sens négatif, la borne de décharge 62-7 isole la borne 26a des moyens de fixation du temps de coupure de la tension de la masse et la tension de cette borne commence à croître ex-

ponentiellement vers la tension de fonctionnement +V; lorsque la tension aux bornes 26a et 26c atteint la tension de seuil établie par la borne 62-6 (tension de seuil qui est fonction de la tension appliquée à la borne ADJ 62-5), le

- 5 signal de la borne de sortie 62-3 du minuteur est mis hors fonction et retourne à un bas niveau de tension, mettant hors fonction le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation.

Les moyens de commande de passage à la fermeture et de  
10 passage à l'ouverture sont combinés en un unique dispositif  
28 de commande de passage à la fermeture/à l'ouverture que  
l'on a décrit plus complètement dans la demande de brevet  
des EUA précitée n° 499 579. En résumé, les moyens de com-  
mande 28 comprennent un élément à conduction unidirection-  
nelle, tel qu'une diode 68, orienté de manière à être conduc-  
teur lorsque l'entrée 28a (connectée à la sortie 20a des  
moyens de minutage des moyens de commutation) des moyens de  
commande est à un haut niveau de tension. Par conséquent,  
à chaque franchissement du zéro par la forme d'onde de la  
20 source, le haut niveau de tension est appliqué, par l'inter-  
médiaire de la diode 68 conductrice, à la borne de sortie  
28b des moyens de commande et à la borne d'entrée de com-  
mande 14a des moyens de commutation de puissance, faisant  
passer à l'état conducteur celui des dispositifs de commuta-  
25 tion 16a et 16b dont le drain est alors à un potentiel posi-  
tif (selon la polarité de la demi-alternance de la forme  
d'onde de la source connectée entre les bornes  $L_1$  et  $L_2$   
de la ligne). Lorsque le niveau de tension de la sortie 20a  
des moyens de minutage des moyens de commutation retombe, la  
30 tension à la sortie d'un inverseur 70 s'accroît, faisant pas-  
ser à l'état conducteur un premier transistor 72 par l'inter-  
médiaire d'un réseau de polarisation 74 (qui comprend une  
paire de résistances 74a et 74b et une diode 74c de compen-

sation de la température) connecté entre la sortie de l'inverseur 70, la base du transistor 72 et la masse. Le transistor source de courant 72 a son électrode d'émetteur connectée par l'intermédiaire d'une résistance 76 de fixation  
5 du niveau d'intensité du courant au neutre du circuit et son électrode de collecteur connectée à la fois à l'électrode de base d'un second transistor 78 de polarité opposée et à une borne d'un condensateur de charge 80 dont l'autre borne est connectée au neutre du circuit. Le collecteur du  
10 transistor 78 est connecté en retour à l'entrée 28a des moyens de commande tandis que son électrode d'émetteur est connectée à la sortie 28b des moyens de commande. La jonction entre l'électrode d'émetteur du transistor 72 et la résistance 76 de fixation du niveau d'intensité de courant  
15 est connectée à une borne de chacune des deux résistances 82a et 82b dont chacune a son autre borne connectée par l'intermédiaire d'un condensateur respectif 84a, 84b respectivement à la première et à la seconde borne de commande de coupure 28c et 28d. Chacune des bornes 28c et 28d est connectée  
20 à la borne de ligne associée 14c et, respectivement, 14b des moyens de commutation de puissance pour détecter le rythme de variation de la tension entre ces bornes. Les moyens de commande 28 assurent ainsi un passage à l'état conducteur approximativement instantané des moyens 14 de commutation et  
25 un passage "progressif" à l'état non conducteur des moyens 14 de commutation, comme plus complètement décrit dans la demande de brevet des EUA précitée. Le passage "progressif" à l'état non conducteur des dispositifs de commutation de puissance est utilisé pour obtenir des niveaux acceptables  
30 d'interférence électro-magnétique et de surtension conduites par la ligne avec des valeurs typiques d'inductance de la ligne d'alimentation en courant, évitant ainsi la nécessité d'avoir à utiliser des filtres, des circuits de protection

et analogues; l'utilisation d'un circuit de commande à passage rapide à la fermeture et à passage lent à l'ouverture peut ne pas être nécessaire pour une application particulière et on ne l'a décrite ici qu'à titre d'exemple non limitatif.

Si les moyens 30 limiteurs de courant sont utilisés, chacune de leurs deux entrées 30a-1 et 30a-2 est connectée à l'une des bornes correspondantes 14b et, respectivement, 14c de la ligne des moyens de commutation de puissance. La chute 10 de tension dans le sens de conduction directe entre les bornes du dispositif de commutation de puissance 16a ou 16b qui est conducteur qui apparaît à la borne d'entrée associée 30a-1 ou 30a-2 est appliquée à une entrée inverseuse 86a d'un autre comparateur 86 par l'intermédiaire d'une résistance chutrice associée respective 88a ou 88b. L'entrée - inverseuse 86a est également connectée à l'anode d'une diode de protection 90 dont la cathode reçoit le potentiel de fonctionnement positif +V de sorte que la tension appliquée à l'entrée 86a du comparateur ne dépasse jamais de beaucoup le potentiel de fonctionnement +V même si la grandeur de la tension aux bornes d'un des dispositifs de commutation 16a et 16b dépasse la grandeur +V du potentiel de fonctionnement. Une entrée + non inverseuse 86b du second comparateur 86 est connectée à un potentiel fixe de référence de coupure, tel 25 que celui produit à la jonction commune entre deux résistances 92a et 92b formant diviseur de tension connectées en série entre le potentiel de fonctionnement +V et le neutre du circuit. La sortie 86c du second comparateur est connectée à la sortie 30b des moyens de commande du courant et, par conséquent, à une première borne sélectionnable 94a des moyens 30 sélecteurs 94. L'autre borne sélectionnable 94b des moyens sélecteurs est connectée à la tension de fonctionnement +V tandis que la borne commune 94c est connectée à l'entrée

auxiliaire 20d des moyens de minutage des moyens de commutation. Les moyens sélecteurs 94 peuvent être simplement constitués par un cavalier 96d monté entre la borne commune 94c et la première borne sélectionnable 94a (comme représenté en traits pleins) si les moyens 30 limiteurs de courant sont utilisés ou montés de manière fixe (comme représenté en traits interrompus) entre la seconde borne sélectionnable 94b et la borne commune 94c pour appliquer continuellement le potentiel de fonctionnement +V à la borne 62-4 du minuteur 62 constitué par un circuit intégré. Les moyens 30 fonctionnent de telle sorte que si l'un des dispositifs de commutation 16a ou 16b est correctement saturé, la tension appliquée à l'entrée 86a du second comparateur est inférieure au potentiel de référence établi à la jonction des résistances 92a et 92b du diviseur de tension de sorte que la tension produite à la sortie 86c du comparateur et appliquée, par conséquent, à la borne 62-4 du minuteur constitué par un circuit intégré est approximativement au niveau du potentiel de fonctionnement +V, permettant au temps de coupure du signal appliqué à l'entrée 14a de commande des moyens de commande de puissance d'être commandé par les moyens 26 de fixation du temps de coupure et par le niveau de signal  $V_{adj}$  appliqué à l'entrée 20e. Chaque fois que la chute de tension dans le sens direct du dispositif de commutation 16a ou 16b conducteur a une grandeur telle qu'elle produit une tension d'entrée qui dépasse le potentiel de référence fixe établi par les résistances 92a et 92b, le signal de sortie du comparateur change d'état, retombant à un niveau de tension relativement bas et cet état de tension de bas niveau appliqué à la borne 62-4 du minuteur constitué par un circuit intégré restaure le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation à l'état de tension de bas niveau ou hors fonction, supprimant l'application du

courant de commande aux moyens 14 de commutation de puissance et les mettant ainsi à l'état non conducteur. Ainsi, dans le cas d'une charge 11 ayant une plus faible résistance à la mise en marche par rapport à la résistance de fonctionnement "à chaud", la remise à l'état hors fonction du signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation se produit relativement tôt après sa mise en fonction du fait du fort appel de courant qui se produit lors du passage à l'état conducteur initial et l'intervalle de temps qui s'écoule entre la mise en fonction et la mise hors fonction du signal de la sortie 20a s'accroît progressivement à mesure que la résistance  $R_L$  de la charge 11 s'accroît avec le temps pendant que la charge tend vers des conditions de régime stabilisé.

Lorsque les conditions de régime stabilisé sont atteintes, si les moyens 30 limiteurs de courant sont utilisés, ou à la mise sous tension du circuit par fermeture de l'interrupteur S, si les moyens 30 ne sont pas employés, les moyens 32 d'échantillonnage de la tension appliquée à la charge et les moyens 34 intégrateurs différentiels influent fonctionnellement sur l'action des moyens 20 de minutage des moyens de commutation conformément à l'un des principes de la présente invention. Les moyens 32 d'échantillonnage de la tension appliquée à la charge comprennent un diviseur de tension 100 qui comprend une résistance série 100a connectée entre l'entrée 32a des moyens d'échantillonnage et une jonction commune d'échantillonnage 100b et une seconde résistance 100c de diviseur de tension connectée entre la jonction commune de sortie 100b du diviseur de tension et le neutre du circuit. Le diviseur de tension 100 sert à atténuer la grandeur de la tension de crête de la ligne et à la ramener à une grandeur de tension appropriée pour être utilisée avec des circuits à semiconducteur et notamment avec les circuits

intégrés utilisés dans les moyens intégrateurs différentiels. Comme déjà décrit ci-dessus, la tension de la charge n'est échantillonnée que pendant les demi-alternances d'une polarité désignée, par exemple la polarité positive, et seulement pendant la partie de chacune de telles demi-alternances au cours de laquelle l'un des dispositifs de commutation de puissance, par exemple, le dispositif supérieur 16a, est dans la condition conductrice. Un premier élément à conduction unidirectionnelle 102, par exemple, une diode à semiconducteur, 5 est connecté entre la jonction commune de sortie 100b du diviseur de tension et le neutre du circuit et est orienté de façon à être conducteur pendant la demi-alternance de la forme d'onde de la source de la polarité qui n'a pas été choisie; dans l'exemple représenté, l'anode de la diode 102 10 est à la tension neutre du circuit et la cathode est connectée à la sortie 100b du diviseur d'échantillonnage de sorte que la diode 102 est conductrice pendant la quasi-totalité de la demi-alternance de polarité négative de la forme d'onde de la source et met pratiquement, pendant cette demi-alternance, la sortie 100b du diviseur de référence en court-circuit avec le neutre du circuit. De cette manière, le signal de la sortie 32b des moyens d'échantillonnage de la tension de la charge est mis obligatoirement au niveau zéro pendant la demi-alternance non choisie de la forme d'onde. Un second élément à conduction unidirectionnelle 104, par exemple 15 une diode à semiconducteur, est connecté entre la sortie 100b du diviseur d'échantillonnage et la seconde entrée 32c des moyens d'échantillonnage, elle-même connectée à la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation; la grandeur maximale de la tension échantillonnée à la sortie 20 20b du diviseur d'échantillonnage est ajustée par la sélection des résistances 100a et 100c de façon à ne jamais dépasser le haut niveau (signal de mise en fonction des

moyens de commutation de puissance) à la sortie 20a des moyens de minutage de sorte que la diode 104 est inversement polarisée, chaque fois que le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est à un plus haut niveau de tension pour mettre l'un des dispositifs de commutation 16a ou 16b à l'état conducteur, et que la diode 104 est polarisée dans le sens direct lorsque la tension de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation tombe à un bas niveau de tension, par exemple, approximativement à la tension neutre du circuit, pour faire passer à l'état non conducteur le dispositif de commutation en cause. Ainsi, la diode 104 directement polarisée conductrice met pratiquement en court-circuit la sortie 32b des moyens d'échantillonnage chaque fois que les moyens de commutation de puissance passent à l'état non conducteur. On peut voir que, lorsque les moyens de commutation de puissance sont mis en fonction par un haut niveau de tension produit à la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation, au début de chaque demi-alternance de polarité positive de la forme d'onde de la source, les diodes 102 et 104 sont inversément polarisées et la tension  $V_s$  de la sortie 32b des moyens d'échantillonnage s'accroît d'une manière proportionnelle à l'accroissement de la tension  $V_L$  appliquée à la charge. A ce moment, pendant la demi-alternance de polarité positive de la forme d'onde de la source, lorsque les moyens de commutation de puissance sont mis hors fonction, par l'apparition d'un bas niveau de tension à la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation, la diode 104 est directement polarisée et force la tension de sortie 32b des moyens de détection de la tension de la charge approximativement à la tension neutre du circuit jusqu'à la fin de la demi-alternance de polarité positive de la forme d'onde de la source. Pendant la demi-alternance de polarité négative

tive de la forme d'onde de la source, la diode 104 est inversement polarisée mais la diode 102 est directement polarisée et force la tension de la sortie 32b des moyens d'échantillonnage de la tension de la charge à rester approximativement au niveau de la tension du neutre (zéro volt) du circuit. Ainsi, la tension échantillonnée  $V_s$  est à un niveau non nul pendant les parties 42a et 42b (Fig. 1b) entre le temps  $t_0^+$  et le temps  $t_1$ , et est à une grandeur sensiblement nulle pendant tout le reste de l'alternance.

10 Les moyens intégrateurs différentiels 34 sont utilisés avec des moyens 106 de fixation d'une tension de référence qui comprennent un diviseur de tension à résistances qui est composé d'une paire de résistances 106a et 106b connectées en série entre la tension de fonctionnement +V et le neutre du circuit et qui comporte une sortie 106d à la jonction entre les résistances au moyen de laquelle le potentiel de référence  $V_{réf}$  est appliqué à l'entrée 34b de tension de référence des moyens intégrateurs différentiels. Les moyens intégrateurs différentiels 34 eux-mêmes comprennent un amplificateur opérationnel 108 à entrées différentielles ayant une entrée - inverseuse 108a connectée par l'intermédiaire d'une résistance d'intégration 110 à la première entrée 34a des moyens intégrateurs. Une entrée + non inverseuse 108b de l'amplificateur est directement connectée à l'entrée 34b de tension de référence des moyens d'intégration. Un condensateur d'intégration 116 est connecté entre l'entrée inverseuse 108a et la sortie 108c de l'amplificateur opérationnel, sortie qui est connectée, par l'intermédiaire d'une résistance 114 à la sortie 34c des moyens d'intégration, et, de ce fait, à l'entrée ADJ 20e des moyens de minutage des moyens de commutation. La tension produite à la sortie 108c de l'amplificateur opérationnel est l'intégrale par rapport au temps de la différence entre la tension échantillonnée  $V_s$ .

appliquée à la première entrée 34a et la tension de référence  $V_{réf}$  appliquée à la seconde entrée 34b. L'emploi de diodes réelles (et non idéales) 102 et 104 provoque une chute de tension  $V_o$  petite mais non négligeable dans la tension de sortie  $V_s$  des moyens d'échantillonnage, qui a été représentée sur la Fig. 1d. Ainsi, pendant la partie de conduction de courant de la charge, 40a-1, de la demi-alternance de polarité positive, les diodes 102 et 104 sont inversement polarisées.

5 La partie 40b-1 retombant rapidement se produit encore mais, du fait qu'une diode réelle (non idéale) 104 est utilisée, la tension d'échantillonnage produite à la sortie 32b des moyens d'échantillonnage ne retombe jamais à zéro. Par conséquent, une partie de tension positive supplémentaire 122 est appliquée à l'entrée de l'intégrateur différentiel pendant le reste de la demi-alternance de polarité positive de la forme d'onde de la source tandis qu'une partie de tension négative supplémentaire 123, dont la grandeur est égale à une chute de tension de diode, est appliquée à cette entrée pendant la demi-alternance de polarité négative de la forme d'onde de la source, lorsque la diode 102 est conductrice.

10 Ainsi, il existe une partie 122 de la courbe au-dessous de laquelle est formée une surface qui, lorsqu'elle est intégrée modifie la tension de sortie des moyens intégrateurs différentiels. Ainsi, on peut voir que les parties 122' et 123'

15 ou 122'' et 123'' apparaissent, que la tension de la charge soit plus grande que voulue (la partie centrale de la Fig. 1d) ou plus petite que voulue (la partie droite de la Fig. 1d), et elle a un effet sur la commande de tension de la charge.

20 La tension de référence  $V_{réf}$  peut être fixée au moyen d'un choix approprié des valeurs des résistances 106a et 106b dont l'une ou l'autre peut être variable (ou au moyen d'un potentiomètre séparé 100c, comme dans le mode de réali-

sation de la Fig. 3), pour faciliter le changement et/ou le réglage exact de la grandeur de la tension de la charge commandée. La tension de la sortie 108c de l'intégrateur est appliquée à la borne 62-5 qui constitue un point dans une chaîne de diviseur à résistances qui s'étend entre les bornes 62-8 et 62-1 du minuteur constitué par un circuit intégré qui fixe les tensions relatives auxquelles la tension de la borne de sortie 62-3 du circuit intégré du minuteur est mise à l'état en fonction et hors fonction par les tensions appliquées à la borne d'entrée de déclenchement 62-2 et à la borne d'entrée de seuil 62-6. La grandeur importante de l'impulsion de tension appliquée à la borne de déclenchement 62-2 est suffisamment importante pour toujours déclencher le minuteur constitué par un circuit intégré et pour mettre en fonction le signal de sa sortie 20a. L'effet principal d'un changement de la tension de la sortie 108c de l'intégrateur est de provoquer un changement dans le temps après chaque mise en fonction par le franchissement du zéro auquel les moyens 26 de fixation du temps de coupure mettent hors fonction le signal de la sortie 20a du minuteur et provoquent l'interruption de la circulation du courant  $I_L$  de la charge, commandant ainsi la grandeur EAM de la tension ou tension "moyenne" de la charge.

On peut voir que si la partie de tension échantillonnée s'accroît, comme le fait la surface accrue au-dessous de la partie 40a'-1 de la courbe de la Fig. 1d, par rapport à la surface située au-dessous de la partie de courbe 40a-1, la surface intégrée, lorsque la tension échantillonnée est inférieure au niveau de référence 1106', il se produit alors une diminution de la tension de la sortie 108c de l'intégrateur (du fait de l'action inverseuse de l'intégrateur) qui réduit la tension de référence interne du minuteur constitué par un circuit intégré pour la tension requise à la

borne de seuil 62-6 afin de mettre hors fonction le signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation, étant donné que la tension des moyens de fixation du temps de coupure change exponentiellement au même rythme, la plus basse tension à la borne de seuil 62-6 est atteinte en un temps plus court, ce qui se traduit par une période de conduction du courant de la charge réduite et par une grandeur EAM ou "moyenne" de la tension de la charge plus petite. Inversement, dans le cas de la faible tension de la charge (représentée dans la partie droite des Fig. 1a-1d) la surface réduite au-dessous de la partie 40a"-1 de la courbe échantillonnée provoque l'accroissement de la tension de la sortie 108c de l'intégrateur. La tension accrue à la borne ADJ 62-5 élève le niveau de tension requis à la borne de seuil 62-6 pour la mise hors fonction du signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation; étant donné que la tension de la sortie 26a des moyens de fixation du temps de coupure s'accroît également de la même manière, un plus long intervalle de temps après que le franchissement du zéro a mis en fonction le signal de la sortie 20a doit s'écouler avant que le signal de la sortie 20a soit mis hors fonction; le courant de la charge s'écoule pendant un plus long intervalle de temps et la tension de la charge s'accroît pour commencer à compenser la faible tension de la charge échantillonnée.

Si les moyens 30 limiteurs de courant sont utilisés, la condition hors de saturation de plus forte priorité détectée par les moyens 30 met hors fonction le signal de la sortie 20a des moyens de minutage de moyens de commutation afin d'empêcher que les dispositifs des moyens 14 de commutation de puissance puissent être endommagés par une dissipation excessive, même dans le cas où la tension de la sortie 108c de l'intégrateur demanderait une plus longue période de

mise en fonction des moyens de commutation de puissance. Dans ce cas, la tension de la charge n'est plus commandée et elle diminue rapidement de sorte que la charge 11 est protégée en même temps que les moyens de commutation de puissance par 5 l'action des moyens 30 de commande de courant.

Nous référant à nouveau à la Fig. 1c, il est souvent souhaitable de commander la tension efficace aux bornes d'une charge plutôt que de commander la grandeur EAM de la tension de la charge. Bien que le circuit de commande de la grandeur 10 EAM de la Fig. 2 maintienne une tension moyenne par demi-alternance constante, la tension efficace appliquée à la charge change (Fig. 3e) sur un intervalle relativement grand indiqué par la courbe 110 lorsque des variations se produisent entre la plus basse tension entre les deux conducteurs 15 de la ligne  $V_{L-L,Lo}$  et la plus forte tension entre les deux conducteurs de la ligne  $V_{L-L,Hi}$  telles que l'intervalle entre 108 et 132 volts efficaces qui existe fréquemment dans les réseaux de distribution résidentiels. S'il est souhaitable de commander la tension efficace appliquée à la charge, 20 la tension efficace  $V_L$  de la charge devrait alors avoir une courbe caractéristique 112 maintenue plus étroitement rapprochée de la tension efficace voulue de la charge  $V_V$  sur tout l'intervalle normal des tensions de la ligne. Ainsi, 25 l'on doit comprendre que la grandeur EAM de la tension de la charge ou tension moyenne fournit une tension échantillonnée approximativement constante étant donné que l'échantillon EAM est une fonction du sinus de la fréquence de la forme d'onde de la source tandis que la tension efficace varie comme le carré du sinus de la forme d'onde de tension de la source. Ainsi, comme représenté dans la partie gauche de la 30 Fig. 1c, on peut faire en sorte que la partie 115 de forme d'onde de conduction de courant (représentée en traits interrompus) de la demi-alternance de polarité positive de la

forme d'onde de la source, délimite la même surface au-dessous d'elle que la surface délimitée au-dessous de la partie plus basse 40a de la forme d'onde de tension de la source mais les valeurs efficaces du courant de la charge et de la tension de la charge seront différentes pour les parties de forme d'onde de conduction 40a et 115.

On effectue la commande de la tension efficace de la charge en utilisant un élément résistif 120 (Fig. 3) en série avec le dispositif conducteur qui shunte la résistance 100a du réseau diviseur d'échantillonnage. La résistance 120 change la grandeur et la forme d'onde de la tension  $V_s'$  de la sortie des moyens d'échantillonnage sur l'intervalle d'une durée supérieure à une demi-alternance au cours duquel cette tension de sortie est une quantité non nulle et influence ainsi la tension de sortie  $V_{adj}$  de l'intégrateur. On peut optimiser cet effet pour la commande de la tension efficace de la charge en diminuant les effets non idéaux des éléments qui provoquent l'action de commutation en série avec la résistance supplémentaire 120 des moyens de détection et en supprimant tout élément de commutation non idéal entre la sortie 32b des moyens d'échantillonnage et la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation (tel que la diode 104). Cette modification a été effectuée et est représentée dans le mode de réalisation de la commande de la tension efficace actuellement préféré représenté sur la Fig. 3).

Sur la Fig. 3, sur laquelle on a utilisé les mêmes références que sur la Fig. 2 pour désigner les mêmes éléments, les moyens 14 de commutation de puissance utilisent deux transistors à effet de champ MOS de puissance (TECMOS) 16a' et 16b', pour montrer une autre des nombreuses formes de dispositifs de commutation de puissance qui peuvent être utilisées.

Les fonctions combinées des diodes 102 et 104 sont remplies par un élément de commutation à conduction bidirectionnelle commandé 126 dont le circuit de conduction est connecté entre la résistance de correction de la tension efficace 120 des moyens détecteurs et la masse et qui comporte une entrée de commande 126a. Une porte NI exclusif 128 a une première entrée 128a connectée à une première entrée supplémentaire 32c' des moyens de détection de la tension efficace de la charge, entrée qui est connectée à la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation pour recevoir l'information d'entrée précédemment utilisée par la diode 104 (du circuit de la Fig. 2). Une seconde entrée 128b de la porte est connectée à une seconde entrée supplémentaire 32b' des moyens de détection de la tension efficace de la charge, entrée qui est connectée à une sortie auxiliaire 22'd qui fournit une forme d'onde logique  $V_Z$  de détection du franchissement du zéro produit à la sortie 52c du comparateur du circuit 22. La sortie 128c de la porte produit le signal de commande  $V_y$  appliqué à l'entrée de commande 126a du premier élément de commutation bidirectionnel 126.

Si des moyens limiteurs de courant sont employés, on peut utiliser les moyens limiteurs modifiés 30' qui ont été plus complètement décrits dans la demande de brevet des EUA précitée n° 529 296 afin d'atténuer plusieurs erreurs dépendant de la température. Ces moyens 30' limiteurs de courant utilisent deux comparateurs 86-1 et 86-2 qui ont tous deux leur entrée - inverseuse 86-1a ou 86-2a connectée à la jonction de sortie d'un diviseur de tension de référence tandis que l'entrée + non inverseuse 86-1b ou 86-2b de chacun des comparateurs est connectée en série avec une résistance respective 88a et 88b. Deux éléments de commutation à conduction bidirectionnelle commandés 130 et 132 sont

connectés entre le neutre du circuit et respectivement l'entrée 86-1b du comparateur 86-1 et l'entrée 86-2b du comparateur 86-2. Les entrées de commande 130a et 132a sont connectées en parallèle à une entrée auxiliaire 30'c des moyens limiteurs de courant, laquelle est elle-même connectée à une sortie auxiliaire 28'e des moyens de commande. La sortie auxiliaire 28'e des moyens de commande est connectée à la sortie de l'inverseur 70'. Les sorties 86-1c et 86-2c des comparateurs sont respectivement connectées à une première entrée 134a et à une seconde entrée 134b d'une troisième porte NI exclusif 134 dont la sortie 134c est connectée successivement à la sortie 30'b des moyens limiteurs de courant, aux moyens sélecteurs 94 puis à l'entrée 20d des moyens de minutage des moyens de commutation. L'inverseur 70' est une quatrième porte NI exclusif pour permettre l'emploi de circuits intégrés logiques à transistor-transistor (TTL) ou à MOS complémentaires qui comportent typiquement quatre portes NI exclusif à deux entrées chacune, si l'on utilise un mode de réalisation de l'appareil 10' composé d'éléments discrets.

De même, la diode 68 est remplacée par un quatrième élément à conduction bidirectionnelle commandé 136 dont l'entrée de commande 136a est connectée à l'entrée 28'a des moyens de commande et dont le trajet de conduction commandé est connecté entre la tension de fonctionnement +V et la sortie 28'b des moyens de commande; les quatre éléments de commutation à conduction bidirectionnelle 126, 130, 132 et 136 peuvent être physiquement contenus dans un unique assemblage de circuit intégré si l'on utilise un mode de réalisation de l'appareil 10' composé d'éléments discrets. Cependant, il est envisagé que la totalité des éléments du circuit 10' puissent être intégrés dans un unique circuit intégré, auquel cas les valeurs des résistances variables, telles que la résistance variable 66, le potentiomètre 106c et analogues, seront fixées de manière prédéterminée pour une charge par-

ticuli re. Il est  g alement envisagé que, selon les caractéristiques de tension et d'intensité de la charge, les moyens 14 de commutation de puissance puissent être construits sous la forme d'un dispositif séparé constitué d'éléments discrets ou formés par un circuit intégré ou puissent, si cela est possible, être intégrés avec le reste du circuit. De même, il entre dans le cadre de la présenté invention d'int ger les circuits de l'appareil 10 de la Fig. 2 ou d'autres circuits appropriés pour satisfaire aux conditions définies par le schéma-bloc de la Fig. 1.

Comme on peut le voir sur les Fig. 3 et 3a-3d auxquelles on se r f rera maintenant, l'appareil 10' fonctionne de la manière suivante: pendant chacune des demi-alternances 150a de polarité positive (représentées en traits interrompus sur la Fig. 3a) de la forme d'onde de tension de la source, la tension  $V_Z$  de la sortie 52c du comparateur est à un bas niveau logique ou niveau 0,152a, tandis que, pendant chacune des demi-alternances 150b de polarité négative de la forme d'onde de la source, la tension  $V_Z$  produite à la sortie auxiliaire 22'd du détecteur de franchissement du zéro est à un haut niveau logique ou niveau 1, 152b. En réponse à chaque franchissement du zéro, 154, la porte 136 de transmission des moyens de commande est mise à l'état conducteur et la tension  $V_g$  (Fig. 3b) de l'entrée de commande 14a des moyens de commutation de puissance s'élève approximativement jusqu'à la grandeur du potentiel de fonctionnement +V avec une partie de front avant 156 relativement raide. Celui des deux dispositifs de commutation 16a' et 16b' auquel est alors appliqué un potentiel de drain positif, c'est-à-dire le dispositif 16a' pendant la demi-alternance de polarité positive et le dispositif 16b' pendant la demi-alternance de polarité négative, est mis dans l'état de conduction. Un certain temps après, avant le franchissement suivant du z -

ro 154, la tension de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation tombe à un bas niveau, en réponse à l'action des moyens 26 de fixation du temps de coupure, influencée uniquement par la tension de la sortie 108c de 5 l'intégrateur si le cavalier 96b est utilisé ou par la tension  $V_{adj}$  et par la tension de la sortie 30'b des moyens limiteurs de courant si le cavalier 96a est utilisé. La mise hors fonction du signal de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation ouvre la porte de 10 transmission 136 et provoque le fonctionnement de la partie de "passage progressif à l'ouverture" des moyens de commande de la manière plus complètement décrite dans la demande de brevet des EUA n° 499 599 précitée qui produisent la partie de forme d'onde de coupure caractéristique 158 15 au front arrière de chaque signal  $V_g$ , front arrière dont on a agrandi, sur la Fig. 3b, l'échelle des temps aux fins de l'illustration. Ainsi, au cours d'un premier intervalle de temps  $T_1$ , la tension  $V_z$  à la sortie 22'd du comparateur du détecteur de franchissement du zéro est à un niveau logique 0 tandis que la tension de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est à un haut niveau logique, ou état 1, de sorte que la tension de sortie  $V_y$  de la porte 20 128 est à un niveau logique 0, comme représenté par la partie 160a de la courbe représentée sur la Fig. 3c. La tension  $V_s'$  25 (Fig. 3d) de la sortie 32b' des moyens d'échantillonnage de la tension de la charge a, par conséquent, une partie initiale 162 s'accroissant de manière sinusoïdale pendant l'intervalle de temps  $T_1$ . Pendant l'intervalle de temps  $T_1$ , la tension  $V_s'$  de la sortie des moyens d'échantillonnage est 30 donnée par l'expression  $V_s' = V_L R_c / (R_a + R_c)$  dans laquelle  $R_a$  et  $R_c$  sont les valeurs respectives des résistances 100a et 100b.

A la fin de l'intervalle de temps  $T_1$ , la tension de la

sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est à un niveau logique 0 de même que la tension de commande  $V_g$  des moyens de commutation de puissance, tandis que la tension de sortie  $V_z$  du comparateur du détecteur du franchissement du zéro reste au niveau logique 0, ce qui provoque le passage de la tension de sortie  $V_y$  de la porte au niveau logique 1 et met la porte de transmission 126 à l'état conducteur. En réponse au niveau logique 1, 160b, de la tension  $V_y$  appliquée à l'entrée de commande, la tension de sortie  $V_s$  des moyens d'échantillonnage de la tension de la charge retombe, avec un front arrière 168, à un niveau de tension inférieur mais non nul donné par l'équation  $V_s = V_{L1-C} (R_d R_c) / (R_a R_d + R_d R_c + R_c R_a)$  dans laquelle  $R_d$  est la valeur de la résistance 120. Une partie atténuée et non nulle 166 du reste de la demi-alternance 150a de polarité positive de la forme d'onde de la source, après la partie de front arrière 164, continue d'apparaître à la sortie 32'b des moyens d'échantillonnage jusqu'au franchissement du zéro dans le sens négatif de la forme d'onde de la source. Pendant la demi-alternance 150b (Fig. 3a) de polarité négative de la forme d'onde de la source, le signal de la sortie 52c du comparateur passe à un haut niveau logique (état 1) et la tension  $V_z$  de la sortie auxiliaire 22'd du détecteur du franchissement du zéro est au niveau logique 1, comme représenté par les parties 152b. En réponse au franchissement du zéro dans le sens négatif, le signal de sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation s'élève à nouveau à un haut niveau, produisant le front avant ascendant 156' de l'impulsion suivante de mise en fonction des moyens de commutation de puissance. Les deux entrées auxiliaires 32c' et 32b' des moyens de détection de la tension de la charge reçoivent toutes deux un signal de niveau logique 1 de sorte que la tension  $V_y$  de l'entrée 126a de commande de la porte

126 continue d'être produite au niveau logique 1, comme représenté par la partie 160b de la courbe. La porte 126 continue d'être conductrice et le signal  $V_s'$  de la sortie des moyens d'échantillonnage de la tension de la charge produit une partie 168 de polarité négative dont l'amplitude est réduite du même facteur que la réduction de l'amplitude pendant la partie 166, étant donné que la résistance 120 est encore essentiellement connectée en parallèle avec la résistance 100b par la porte de transmission 126 conductrice.

10 La valeur  $R_d$  de la résistance 120 est choisie de façon à rendre la tension échantillonnée  $V_s'$  égale à la tension échantillonnée  $V_s$  pendant la partie de conduction de chaque alternance de la forme d'onde de la source et pour une tension efficace constante de la charge. Lorsque la tension échantillonnée  $V_s'$  appliquée à la première entrée 34a de l'intégrateur est comparée à la tension de référence appliquée à l'entrée 34b de l'intégrateur, la surface intégrée au-dessous de la partie 166 de polarité positive est plus grande que la surface intégrée au-dessous de la partie 168 de polarité négative et la tension différentielle intégrée, c'est-à-dire la différence entre les surfaces situées au-dessous des deux parties 166 et 168 de forme d'onde dépend de la tension de la ligne, chacune des surfaces s'accroissant ou diminuant lorsqu'il se produit un accroissement ou une diminution respective de la tension de la ligne de sorte que la tension de sortie d'ajustement intégrée  $V_{adj}$  appliquée à l'entrée d'ajustement 20e des moyens de minutage des moyens de commutation est approximativement proportionnelle à l'intégrale par rapport au temps de l'écart de la tension efficace de la charge par rapport à la tension de référence fixe  $V_{réf}$  établie pour cette tension.

15 20 25 30

A la fin de l'impulsion de mise en fonction des moyens de commutation de puissance, c'est-à-dire après la retombée

du front arrière 158', pendant la demi-alternance de polarité négative de la forme d'onde de la source, la tension de la sortie 20a des moyens de minutage des moyens de commutation est à un bas niveau logique (état 0), tandis que la tension  $V_Z$  de la sortie auxiliaire 22'd du détecteur de franchissement du zéro reste au haut niveau logique (état 1) dans la partie 152b. La tension de commande  $V_y$  appliquée à l'entrée 126a de l'élément de conduction retourne au niveau logique 0, dans la partie 160c. Ceci ouvre la porte de transmission 126 et supprime la connexion de la résistance 120 en parallèle avec la résistance 100b. Cependant, étant donné qu'aucune tension n'est appliquée à l'entrée 32a' des moyens d'échantillonnage, pour les raisons expliquées ci-dessus, la tension d'échantillonnage  $V_s'$  produite à la sortie 32b' des moyens d'échantillonnage de la tension de la charge retombe, au front 170, approximativement à la grandeur zéro dans les parties 172 de la courbe, qui est maintenue jusqu'au début de la demi-alternance de polarité positive suivante de la forme d'onde de la source, après quoi l'ensemble du processus est répété. Ainsi, il est sans importance que la porte de transmission 126 soit bloquée pendant la partie 160c et cette mise à l'état non conducteur n'a essentiellement aucun effet sur le processus de commande de la tension efficace de la charge. Les moyens d'échantillonnage 32' et les moyens intégrateurs 34 servent encore à accroître la conduction du courant de la charge, par conséquent, accroissant la tension efficace de la charge si la tension différentielle de la source pendant l'alternance précédente de la forme d'onde de la source a été responsable d'une tension efficace de la charge inférieure à la tension voulue et servant à diminuer la tension efficace de la charge si l'intégration de la tension de la charge échantillonée pendant l'alternance précédente de la forme d'onde de la source a

étété responsable d'une tension efficace de la charge supérieure à la tension voulue. Par conséquent, grâce à l'inclusion de la résistance supplémentaire 120 dans les moyens d'échantillonnage 32', avec une connexion appropriée par l'intermédiaire de la porte de transmission 126 au neutre du circuit, le circuit fonctionne conformément à la courbe de fonctionnement voulue 112 (Fig. 3c) lors de changements des tensions de la source sur un large intervalle, maintenant ainsi la tension efficace de la charge à un niveau approximativement constant.

Bien qu'on ait décrit en détail ci-dessus plusieurs modes de réalisation actuellement préférés du nouveau procédé et du nouvel appareil de commande de la tension appliquée à une charge, il est évident que de nombreuses modifications et variantes de ce procédé et de cet appareil viendront immédiatement à l'esprit des spécialistes de la technique. Il est, par conséquent, bien entendu que la présente invention ne doit être limitée que dans la mesure définie par la portée des revendications annexées et non par les détails et éléments spécifiques, décrits uniquement à des fins d'illustration.

## REVENDICATIONS

- 1 - Un procédé pour commander la grandeur de la moyenne des demi-alternances ou la grandeur de la moyenne quadratique d'une tension alternative appliquée aux bornes d'une charge à partir d'une source de courant alternatif de plus forte tension, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il consiste: (a) à utiliser des moyens de commutation (14) montés en série entre la source (12) et la charge (11) pour fermer sélectivement le circuit entre elles; (b) à mettre les moyens de commutation à l'état conducteur pour permettre au courant de s'écouler à travers la charge pendant au moins un intervalle de temps au cours de chaque alternance de tension alternative de la source; (c) à échantillonner la grandeur de la tension appliquée aux bornes de la charge au moins une fois au cours de chaque alternance de la forme d'onde de la source pour produire un signal d'ajustement ( $V_{adj}$ ); et (d) à ajuster, en réponse au signal d'ajustement, l'intervalle de temps pendant lequel les moyens de commutation permettent au courant de s'écouler à travers la charge afin de faire varier celle choisie des deux grandeurs de tension, à savoir la grandeur moyenne des demi-alternances et la grandeur efficace de la tension appliquée à la charge, de façon qu'elle reste approximativement égale à une valeur voulue.
- 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape (c) comporte les étapes qui consistent: à échantillonner la grandeur de la tension de la charge au moins pendant un intervalle de temps au cours duquel le courant s'écoule à travers la charge (11).
- 3 - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, l'étape qui consiste: à n'échantillonner la grandeur de la tension de la charge que si une tension de polarité positive est appliquée aux bornes de la charge (11) pendant le flux de courant s'écoulant à travers la charge.

- 4 - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'étape (c) comporte, en outre, les étapes qui consistent: à produire une tension de référence dont la grandeur établit la valeur voulue de celle choisie des deux grandeurs de
- 5 tension, à savoir la grandeur moyenne des demi-alternances et la grandeur efficace de la tension appliquée à la charge; à comparer la grandeur de la tension de la charge échantillonnée à celle de la tension de référence, et à intégrer la différence entre la grandeur de la tension de la charge et
- 10 la grandeur de la tension de référence, par rapport au temps, pour produire le signal d'ajustement.
- 5 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'écart absolu moyen (EAM) de la grandeur de la tension appliquée à la charge est la grandeur moyenne des demi-alternances de la tension de la charge qui est commandée.
- 15 6 - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, les étapes qui consistent: à n'échantillonner la grandeur de la tension de la charge que si une tension de polarité positive est appliquée aux
- 20 bornes de la charge (11) pendant le flux de courant s'écoulant à travers la charge.
- 7 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la grandeur moyenne quadratique de la tension appliquée à la charge (ou tension efficace) est commandée.
- 25 8 - Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, l'étape qui consiste: à échantillonner la tension à une borne (10a) de la charge connectée à une borne ( $L_1$ ) de la ligne pendant toute la présence de cette tension au cours de l'alternance de la forme d'onde de la source.
- 30 9 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, les étapes qui consistent: à contrôler les conditions de la charge (11) pour détecter au

moins une condition de défaillance de cette dernière; et à interrompre l'écoulement du courant à travers la charge si la condition ou l'une des conditions de défaillance est détectée.

5 10 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la condition de défaillance est un flux de courant dépassant une valeur maximale pré-déterminée.

10 11 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, l'étape qui consiste à terminer l'étape d'ajustement de l'alternance en cours de la forme d'onde de la source si l'intervalle de temps du flux de courant à travers la charge dépasse une durée maximale pré-déterminée.

15 12 - Un appareil pour commander la grandeur de la moyenne des demi-alternances ou la grandeur de la moyenne quadratique d'une tension alternative appliquée aux bornes d'une charge à partir d'une source de courant alternatif de plus forte tension, cet appareil étant caractérisé en ce qu'il comporte:des moyens de commutation (14) connectés en série entre la source (12) et la charge (11) pour fermer sélectivement un circuit entre elles; des moyens (20) de mise en fonction pour mettre les moyens de commutation à l'état conducteur afin de permettre à un flux de courant de s'écouler à travers la charge (11) pendant au moins un intervalle de temps au cours de chaque alternance de la forme d'onde du courant alternatif; et des moyens (32, 34; 32', 34') pour échantillonner la grandeur de la tension appliquée aux bornes de la charge de manière à appliquer un signal d'ajustement ( $V_{adj}$ ) aux moyens de mise en fonction afin d'ajuster l'intervalle de temps au cours duquel les moyens de commutation (14) permettent au flux de courant de s'écouler à travers la charge de façon à faire varier celle choisie des deux grandeurs, à savoir la grandeur de la moyenne des demi-alternances et la grandeur moyenne quadratique de la tension,pour

qu'elle reste approximativement égale à une valeur voulue.

13 - Appareil selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens d'échantillonnage (32; 32') sont mis en fonction par les moyens (20) de mise en fonction pour échantillonner la grandeur de la tension appliquée à la charge pendant au moins un intervalle de temps au cours duquel le courant s'écoule à travers la charge.

14 - Appareil selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens d'échantillonnage (32) comprennent des moyens (102) pour empêcher l'échantillonnage de la tension appliquée à la charge à moins qu'une tension de polarité positive soit présente aux bornes de la charge pendant la mise en fonction des moyens d'échantillonnage par les moyens (20) de mise en fonction.

15 - 15 - Appareil selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens d'échantillonnage comprennent des moyens diviseurs (100; 100, 120) agencés pour produire une tension de sortie qui est un échantillon approximatif de grandeur réduite de la tension appliquée aux bornes de la charge; des moyens (106; 106') pour produire une tension de référence ( $V_{réf}$ ) dont la grandeur établit la grandeur voulue de celle choisie des deux grandeurs, à savoir la grandeur de la moyenne des demi-alternances et la grandeur de la moyenne quadratique, de la tension appliquée aux bornes de la charge; et des moyens (34) pour intégrer, par rapport au temps, la différence entre la tension de sortie ( $V_s; V_s'$ ) des moyens diviseurs et la tension de référence afin de produire le signal d'ajustement ( $V_{adj}$ ).

16 - Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce que la tension de référence ( $V_{réf}$ ) est une tension continue approximativement constante.

17 - Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens intégrateurs (34) comprennent un amplificateur

opérationnel (108) ayant une entrée non inverseuse (108b) qui reçoit la tension de référence, une entrée inverseuse (108a) et une sortie (108c) à laquelle apparaît le signal d'ajustement; une résistance d'entrée (110) recevant à une 5 première borne (34a) la tension de sortie des moyens diviseurs (100; 100,120) et ayant une seconde borne connectée à l'entrée inverseuse; et un élément intégrateur (112) connecté entre l'entrée inverseuse et la sortie.

18 - Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce 10 que la grandeur de la moyenne des demi-alternances de la tension aux bornes de la charge est commandée, et en ce que les moyens diviseurs comprennent, en outre, des premiers moyens (104), connectés entre les moyens (20) de mise en fonction et la sortie (100b) des moyens diviseurs (100) 15 pour mettre pratiquement le signal de sortie ( $V_s$ ) des moyens diviseurs hors fonction si les moyens de mise en fonction n'ont pas au moment en cause mis les moyens de commutation (14) à l'état conducteur et s'il ne s'écoule pas de courant à travers la charge.

20 - Appareil selon la revendication 18, caractérisé en ce que les premiers moyens de mise hors fonction sont constitués par un dispositif (104) à conduction unidirectionnelle orienté de façon à n'être conducteur que lorsque les moyens (20) de mise en fonction ont mis les moyens de commutation 25 à l'état non conducteur et qu'aucun courant ne s'écoule à travers la charge (11).

20 - Appareil selon la revendication 18, caractérisé en ce que les moyens diviseurs (100) comprennent, en outre, des seconds moyens (102) pour mettre pratiquement hors fonction le 30 signal de sortie ( $V_s$ ) si une tension de polarité négative est présente aux bornes de la charge (11).

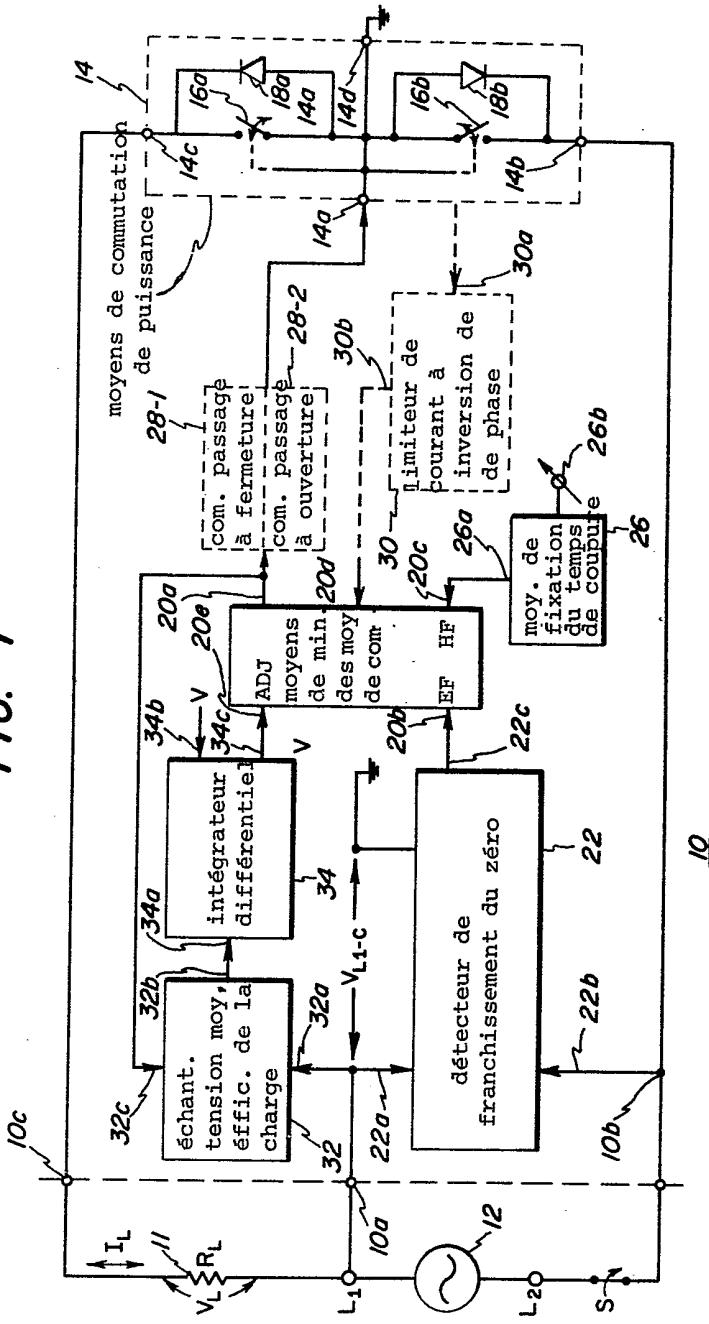
21 - Appareil selon la revendication 20, caractérisé en ce que les seconds moyens de mise hors fonction sont constitués par un dispositif (102) à conduction unidirectionnelle monté

entre la sortie (100b) des moyens diviseurs et un potentiel neutre et orienté de façon à conduire le courant si une tension de polarité négative est présente entre eux.

- 22 - Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce que la grandeur de la moyenne quadratique de la tension aux bornes de la charge (11) est commandée, et en ce que les moyens diviseurs comprennent, en outre, une résistance (120) connectée entre la sortie (100b) des moyens diviseurs et un potentiel neutre et dont la valeur est choisie de façon que la grandeur du signal d'ajustement soit établie en fonction de la grandeur de la moyenne quadratique de la tension appliquée à la charge; et des moyens (126) connectés en série avec la résistance (120) pour interrompre sa connexion avec le potentiel neutre(a) si les moyens (20) de mise en fonction permettent l'écoulement d'un courant à travers la charge avec une tension appliquée à la charge de polarité positive et (b) si les moyens de mise en fonction empêchent l'écoulement d'un courant à travers la charge avec une tension appliquée à la charge de polarité négative.
- 23 - Appareil selon la revendication 22, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (52) pour détecter la polarité de la tension appliquée à la charge et pour produire un signal de sortie ( $V_Z$ ) ayant des première et seconde valeurs respectivement pour une tension de la charge de polarité négative et pour une tension de la charge de polarité positive; en ce que le signal de sortie des moyens (20) de mise en fonction produit des première et seconde valeurs respectivement pour mettre les moyens de commutation (14) à l'état conducteur et à l'état non conducteur, et en ce que les moyens de déconnexion de la résistance (120) comprennent un élément (126) ayant une entrée de commande et un circuit connecté en série entre la résistance (120) et le potentiel neutre, cet élément étant commandé à une condition de conduction bi-

- directionnelle en réponse à un signal appliqué à l'entrée de commande; et une porte OU exclusif (128) ayant une première entrée (128b) qui reçoit le signal de sortie des moyens détecteurs de polarité, une seconde entrée (128a) 5 qui reçoit le signal de sortie des moyens (20) de mise en fonction et une sortie (128c) qui produit le signal appliqué à l'entrée de commande.
- 24 - Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens (20) de mise en fonction comprennent des 10 moyens (26) pour mettre les moyens de commutation (14) à l'état non conducteur afin de terminer chaque période de flux de courant à travers la charge après un intervalle de temps prédéterminé si le signal d'ajustement n'a pas encore provoqué l'interruption du flux de courant à travers la 15 charge.
- 25 - Appareil selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, des moyens (30') pour contrôler les conditions de la charge (11) afin de détecter au moins une condition de défaillance de cette dernière et d'interrompre immédiatement le flux de courant s'écoulant à travers la charge si la condition ou l'une des conditions 20 de défaillance est détectée.

FIG. I



10

FIG. 1a

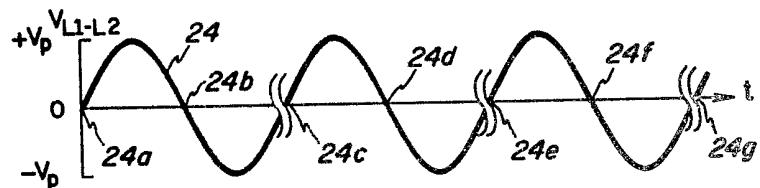


FIG. 1b

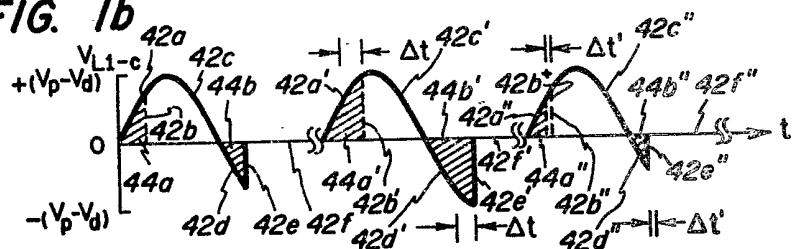


FIG. 1c

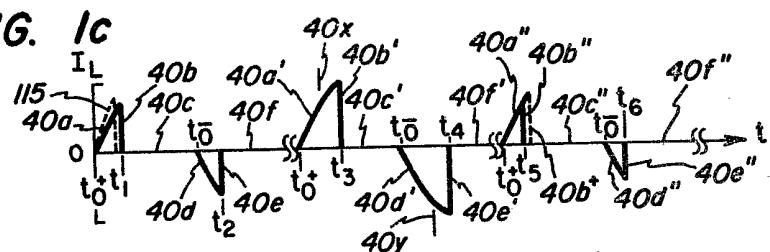
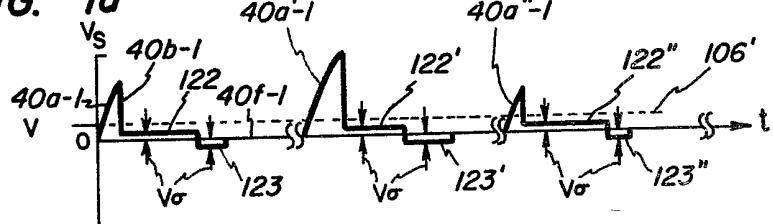


FIG. 1d



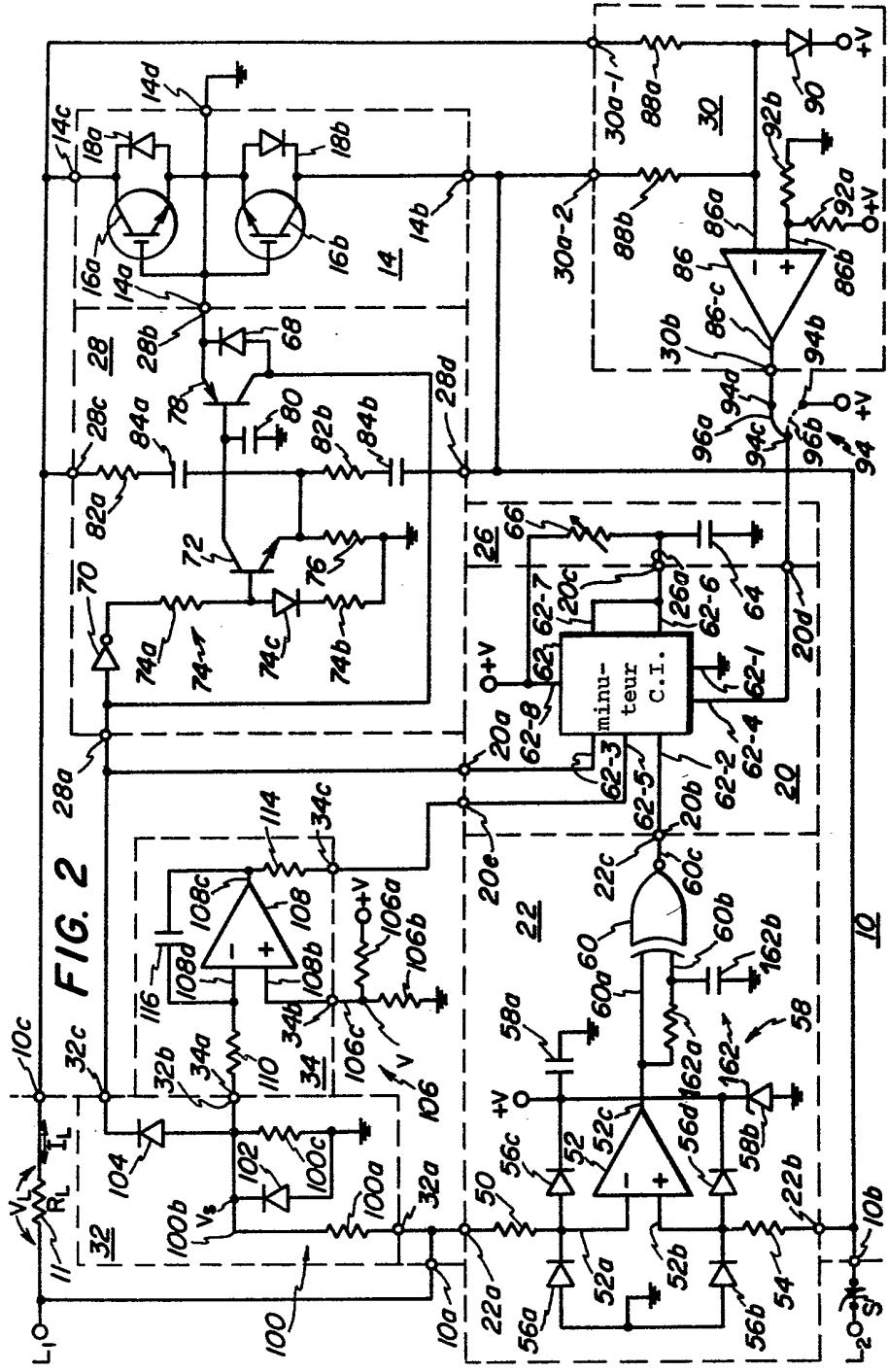
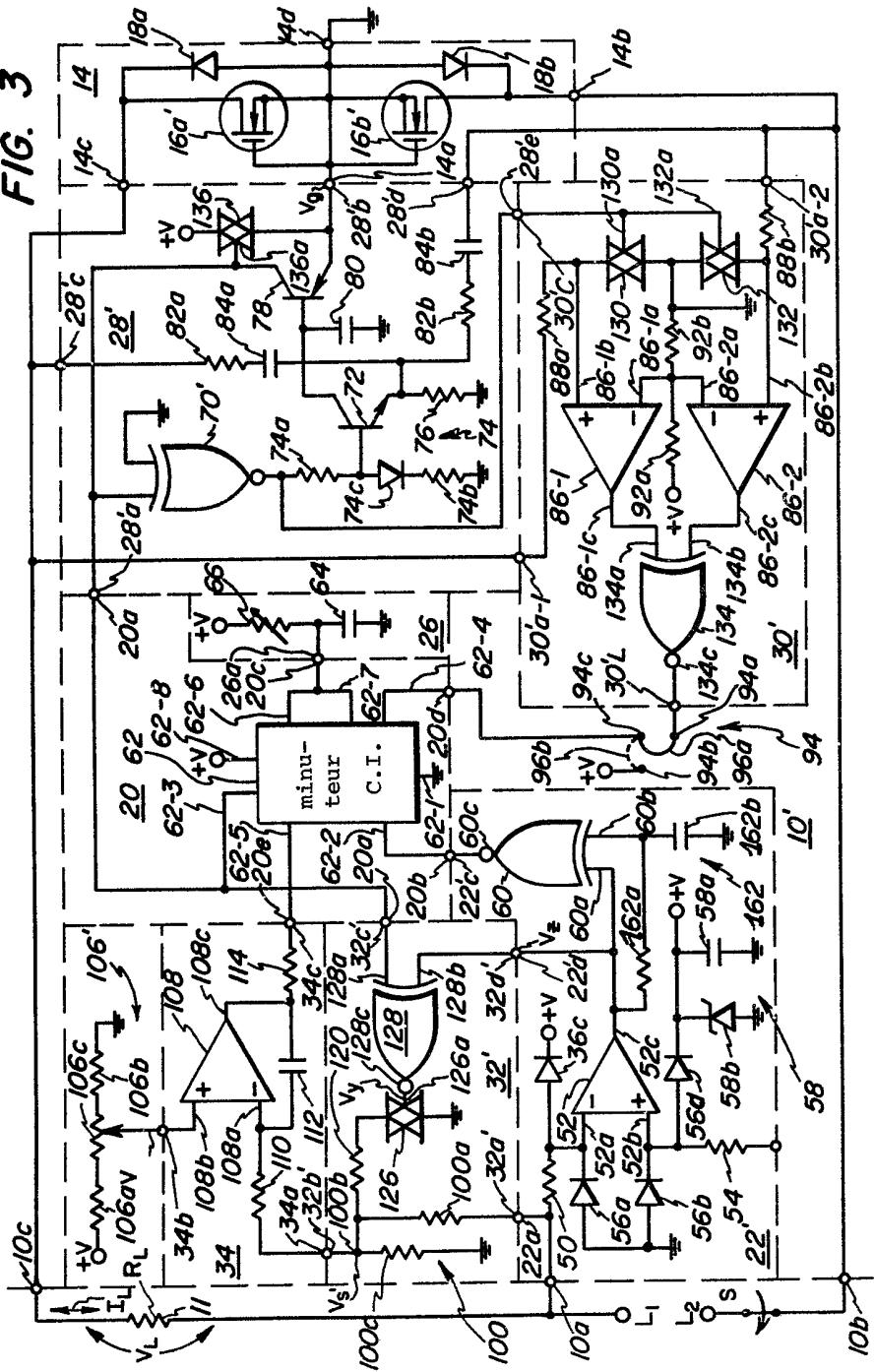


FIG. 3



V-5

2556899

