

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 279 084 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:

**11.05.2005 Bulletin 2005/19**

(21) Numéro de dépôt: **01925651.0**

(22) Date de dépôt: **13.04.2001**

(51) Int Cl.7: **G05F 1/24**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2001/001153**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2001/079953 (25.10.2001 Gazette 2001/43)**

(54) **ENSEMBLE ADAPTATEUR DE TENSION**

SPANNUNGSADAPTEREINHEIT

VOLTAGE ADAPTER ASSEMBLY

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

Etats d'extension désignés:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorité: **13.04.2000 FR 0004750**

(43) Date de publication de la demande:  
**29.01.2003 Bulletin 2003/05**

(73) Titulaire: **OPTAREL  
F-33130 Begles (FR)**

(72) Inventeur: **GRANDIDIER, Jean-Yves  
F-33170 Gradignan (FR)**

(74) Mandataire: **Dronne, Guy et al  
Cabinet Beau de Loménie,  
158, rue de l'Université  
75340 Paris Cedex 07 (FR)**

(56) Documents cités:  
**GB-A- 544 312 GB-A- 2 307 567  
US-A- 5 712 554 US-A- 5 808 454**

**EP 1 279 084 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un ensemble adaptateur de tension destiné notamment, mais non exclusivement, à compenser les variations de tension d'une ligne d'alimentation électrique du réseau de distribution d'énergie électrique.

**[0002]** Les lignes d'alimentation électrique du réseau délivrent une tension qui évolue dans le temps. En effet, lorsque la puissance appelée augmente soudainement, on observe des chutes de tension en bout de ligne notamment.

**[0003]** Les surtensions peuvent également être dues aux manoeuvres sur les lignes ; elles peuvent provenir d'une commutation au niveau des transformateurs d'alimentation, de la mise en service de machines tournantes fortement selfiques, ou du déséquilibre du réseau triphasé.

**[0004]** Or, les normes prévoient, par exemple en France en zone rurale à ce jour, que la tension efficace du réseau Basse Tension doit être comprise dans l'intervalle 230 V +6/-10%, c'est-à-dire entre 207 et 244 V.

**[0005]** En effet, les variations de tension présentent des inconvénients car il existe de nombreux appareils électriques et électroniques dont les variations de tension d'alimentation ne doivent pas dépasser un pourcentage déterminé de la tension nominale d'alimentation sous peine d'endommagement définitif ou momentané.

**[0006]** Afin de remédier à ces inconvénients, on a imaginé des appareils de régulation de tension utilisant des transformateurs à rapports variables mais dont l'autoconsommation est importante ou dont les coupures d'alimentation lors du changement de rapport de transformation sont indésirables.

**[0007]** Par ailleurs, de tels dispositifs présentent des temps de réponse élevés, ce qui peut provoquer des surtensions pendant des temps inacceptables du point de vue du distributeur d'électricité, lorsqu'un ou des utilisateurs déconnectent une charge brutalement.

**[0008]** Un objet de la présente invention est de fournir un ensemble adaptateur de tension apte à répondre rapidement aux variations de tension de la ligne d'alimentation, en particulier en cas de surtension, et ne produisant pas de coupures ou micro-coupures sur la ligne.

**[0009]** Pour atteindre ce but, selon l'invention, l'ensemble adaptateur comporte, un dispositif d'adaptation de tension auquel est appliqué une tension d'entrée  $V_E$  à adapter et muni de moyens diviseurs de tension pour élaborer une tension additionnelle  $V_D$  égale à  $kV_E$ , des moyens pour faire la somme de ladite tension d'entrée  $V_E$  et d'une fraction de ladite tension additionnelle  $V_D$ , des moyens pour appliquer une tension  $V_S$  à la sortie dudit dispositif d'adaptation, des moyens pour mesurer ladite tension de sortie  $V_S$  ; et des moyens de contrôle pour élaborer une information représentative du rapport  $k$  à appliquer audit diviseur de tension,

- lesdits moyens de mesure délivrant, avec une périodicité  $T$ , des valeurs de tensions de sortie ;

et lesdits moyens de contrôle comprenant :

- des moyens pour élaborer une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  en fonction desdites valeurs de tensions de sortie ;
- des moyens pour comparer la tension prédite  $V_{pred}$  à une valeur prédéterminée  $V_{min}$  et pour déclencher une procédure de régulation rapide si  $V_{pred} < V_{min}$  ; et,
- des moyens pour calculer la variation de la tension de sortie  $\Delta V$  sur un nombre  $n$  de périodes de mesure, et pour comparer, si  $V_{pred} > V_{min}$ , ladite variation de tension calculée à une valeur  $V_v$  prédéterminée de variation de tension et pour déclencher ladite procédure de régulation rapide si  $\Delta V > V_v$  et pour déclencher une procédure de régulation lente dans le cas contraire.

**[0010]** On comprend que la tension  $V_E$  est la tension de la ligne d'alimentation et que la tension de sortie  $V_S$  est la tension qui est délivrée chez l'utilisateur.

**[0011]** Les moyens de mesure qui permettent de mesurer la tension de sortie de l'adaptateur fournissent une information représentative de ladite tension de sortie aux moyens de contrôle qui élaborent une information apte à appliquer une tension supplémentaire à la tension d'entrée  $V_E$  dans le cas d'une baisse de tension par rapport à la tension nominale ou une information apte à diminuer la tension d'entrée  $V_E$  dans le cas d'une tension supérieure à la tension nominale. Dans ce cas,  $k$  prend des valeurs négatives.

**[0012]** Ainsi, selon une caractéristique particulière, on élabore une tension prévisionnelle dite tension prédite  $V_{pred}$  en fonction des valeurs de tension de sortie, qui est une estimation de la valeur de tension pour le futur compte tenu de l'évolution passée de la tension de sortie  $V_S$ . Cette estimation permet de préparer une correction à appliquer à la tension compte tenu de la dérive éventuelle que l'on constate. Afin d'évaluer cette dérive, tout d'abord, on compare la tension prédite à une valeur prédéterminée  $V_{min}$  et on déclenche une procédure de régulation rapide si  $V_{pred} < V_{min}$ .  $V_{min}$  est une valeur seuil paramétrable en dessous de laquelle la valeur prédite  $V_{pred}$  ne doit pas descendre sous peine de débordement de la tension. En fait, on réalise une prévision sur ce que sera la tension dans le futur, et si cette prévision est en dessous d'un certain seuil  $V_{min}$ , on décide de réguler la tension selon un mode dit "régulation rapide"

que l'on détaillera dans la suite de la description et qui permet de revenir très vite à la tension de consigne. Ensuite, lorsque l'on a pris en compte la valeur de tension future et que la valeur prédite est supérieure à la valeur de seuil, on prend en compte la vitesse de variation de la tension pour déclencher une procédure de régulation rapide ou une procédure de régulation lente. Les procédures de régulation rapide et lente seront décrites plus en détail dans la suite

**[0013]** Lorsqu'une surtension apparaît, selon encore un mode préféré de mise en oeuvre, l'ensemble adaptateur comprend en outre un commutateur de surtension et une résistance anti-surtension montés en parallèle avec ledit enroulement primaire des moyens pour faire la somme des tensions, et des moyens pour commander l'état ouvert ou fermé dudit commutateur.

**[0014]** Ainsi, lorsqu'une augmentation de tension apparaît, le plus souvent liée à une déconnexion de charge chez l'utilisateur, la résistance anti-surtension est connectée aux bornes de l'enroulement primaire des moyens pour faire la somme des tensions, de manière à compenser la baisse de charge. Cette résistance permet ainsi d'amortir la remontée de tension, le temps que les moyens diviseurs de tension s'adaptent au nouvel état de la ligne.

**[0015]** La résistance anti-surtension est connectée aux bornes dudit enroulement primaire par un commutateur actionné par des moyens de commande qui sont aptes à recevoir un signal de fermeture élaboré par les moyens de contrôle.

**[0016]** Selon un mode particulièrement avantageux de mise en oeuvre de l'invention, lesdits moyens pour élaborer une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  élaborent une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  à un instant de mesure  $t$  à partir des mesures de tension de sortie aux instants  $t$ ,  $t - aT$  et  $t - 2aT$ . Ainsi, la valeur de tension prédite  $V_{pred}$  représente une valeur fiable de la valeur de tension prévue dans un avenir proche.

**[0017]** Avantageusement les moyens de contrôle comprennent en outre des moyens pour comparer ladite tension de sortie mesurée  $V_S$  à une tension prédéterminée  $V_{max}$  et des moyens pour élaborer un signal de fermeture dudit commutateur de surtension si ladite tension de sortie est supérieure à  $V_{max}$ .

**[0018]** On comprend que les moyens de contrôle analysent la tension de sortie  $V_S$  et une tension prédéterminée  $V_{max}$  correspondant à un seuil de tension à ne pas dépasser. Ce seuil de tension correspond à un certain pourcentage de la tension nominale fournie par la ligne d'alimentation électrique. L'analyse consiste à comparer la tension de sortie  $V_S$  à une valeur prédéterminée et à connecter la résistance anti-surtension en cas de dépassement de cette valeur.

**[0019]** Comme on l'expliquera plus en détails, la mesure de la tension de sortie  $V_S$  et la comparaison avec la valeur prédéterminée  $V_{max}$  sont réalisées à une grande fréquence afin d'intervenir très rapidement sur la ligne en cas de surtension.

**[0020]** De façon préférentielle, les moyens de contrôle comprennent en outre des moyens pour comparer ladite tension de sortie mesurée  $V_S$  à une tension prédéterminée  $V_{inf} < V_{min}$  et des moyens pour déclencher ladite procédure de régulation rapide si ladite tension de sortie mesurée est inférieure  $V_{inf}$ .

**[0021]** On comprend que la tension de sortie ne doit pas non plus descendre au-dessous d'un certain seuil de tension  $V_{inf}$ . Lorsque c'est le cas, on ajoute à la tension de sortie une tension supplémentaire à la sortie de l'ensemble adaptateur, selon le mode de régulation rapide.

**[0022]** Avantageusement, l'ensemble adaptateur comprend en outre, dans le cas d'un réseau triphasé, une pluralité de moyens pour faire la somme des tensions sur chacune des phases, par quoi lesdits moyens pour faire la somme des tensions sont physiquement indépendant sur chacune des phases.

**[0023]** D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après de modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue schématique du circuit de l'ensemble adaptateur de tension,
- la Figure 2, est une vue schématique du circuit du dispositif d'adaptation de tension comprenant une entrée, des moyens diviseurs de tension, des moyens pour faire la somme à la tension d'entrée et des moyens pour appliquer la tension  $V_S$  à la sortie du dispositif d'adaptation,
- la Figure 3 est une vue schématique du circuit selon la Figure 2 auquel on a ajouté les moyens pour mesurer la tension de sortie, les moyens de contrôle et les moyens de commande,
- la Figure 4 est une vue schématique d'un organigramme représentant les trois procédures de régulation possibles, et,
- la Figure 5 est une vue schématique d'un organigramme représentant la stratégie de régulation de l'ensemble adaptateur.

**[0024]** On se référera tout d'abord à la Figure 1 pour décrire le principe général de fonctionnement de l'ensemble adaptateur de tension.

**[0025]** Le dispositif adaptateur comporte une entrée E pour recevoir une tension d'entrée  $V_E$  à adapter qui correspond à l'alimentation et une sortie S pour délivrer une tension de sortie  $V_S$  correspondant à une tension adaptée délivrée à

l'utilisateur.

**[0026]** Le dispositif comporte également des moyens diviseurs 110 ou transformateur de commutation qui est un transformateur à rapport variable  $k$  permettant d'élaborer une tension additionnelle  $V_D$ . Cette tension additionnelle est égale à  $k.V_E$ . La valeur de la tension additionnelle est déterminée par les moyens de contrôle 112 et par les moyens de commande 114 qui déterminent le rapport de transformation  $k$  à appliquer en fonction de la valeur de la tension de sortie  $V_S$  donnée par les moyens de mesure 116. La mesure pourrait également se faire à l'entrée E de l'ensemble adaptateur de tension.

**[0027]** Les moyens diviseurs 110 sont reliés à des moyens pour faire la somme 118 de la tension d'entrée  $V_E$  et d'une fraction  $k'.V_D$  de la tension additionnelle de manière à obtenir la tension de sortie  $V_S$ ,  $k'$  étant le rapport de transformation fixe des moyens pour faire la somme 118 qui sont, dans le cas présent, un transformateur à rapport fixe, dit transformateur de couplage.

**[0028]** On se référera maintenant à la Figure 2 pour décrire plus en détail le transformateur de commutation et le transformateur de couplage, ainsi que les moyens anti-surtension.

**[0029]** Le transformateur de commutation 210 comprend un enroulement primaire 220 aux bornes duquel est appliquée la tension d'entrée  $V_E$  et un enroulement secondaire 230 comportant, par exemple, six sorties de division : 232, 234, 236, 238, 240, et, 242, respectivement reliées à six commutateurs C232, C234, C236, C238, C240 et, C242, lesquels sont également reliés à la sortie des moyens de division de tension 210. Par ailleurs, un septième commutateur relie la sortie de division 232 à la sortie des moyens de division de tension 210. Ainsi, par le choix d'une commutation de deux commutateurs, il est possible de faire varier la tension additionnelle, par exemple, de -8 à +24% de la tension d'entrée.

**[0030]** Le transformateur de couplage 118 comprend un enroulement secondaire 246 auquel est appliquée la tension complémentaire  $k'.V_D$  et un enroulement primaire 248 auquel est appliquée la tension additionnelle  $V_D$ . Ce transformateur est à rapport fixe  $k'$  et permet d'ajouter à la tension d'entrée  $V_E$  une tension supplémentaire égale à  $k.k'.V_E = K.V_E$ .

**[0031]** De plus, le dispositif d'adaptation comporte un commutateur de surtension 250 et une résistance anti-surtension 252 montés en parallèle avec l'enroulement primaire 248.

**[0032]** On a représenté sur la Figure 3, le schéma de la Figure 2 auquel on a ajouté des moyens de commande pour commander les commutateurs, des moyens de contrôle et des moyens de mesure de la tension de sortie  $V_S$ .

**[0033]** A la base de tout dispositif de régulation, il est nécessaire d'avoir des moyens de mesure. Sur la Figure 3 des moyens de mesure 354 mesurent la tension de sortie du dispositif d'adaptation à une fréquence multiple de celle du réseau électrique, soit par exemple de 1000 Hz pour une tension de fréquence 50 Hz, soit une périodicité de 1 ms. En fait le signal est échantillonné par les moyens de mesure de manière à calculer la valeur efficace de la tension. Pour ne pas alourdir la description nous parlerons de la valeur de tension pour valeur efficace de la tension.

**[0034]** En conséquence, les moyens de mesure 354 sont aptes à fournir une mesure de la valeur de tension de sortie  $V_S$  à des moyens de contrôle 360.

**[0035]** Les moyens de contrôle 360 comportent des moyens de comparaison 361 pour comparer la tension de sortie  $V_S$  mesurée par les moyens de mesure 354 à une tension prédéterminée  $V_{max}$  qui ne doit pas être dépassée ou être dépassée le moins longtemps possible. Cette tension  $V_{max}$  correspond, par exemple, pour l'énergie électrique distribuée en basse tension en France en zone rurale à un excès de 6% de la valeur nominale 230 V, soit 244 V. Lorsque la tension de sortie  $V_S$  est supérieure à la tension prédéterminée  $V_{max}$ , des moyens 362 élaborent un signal apte à ordonner aux moyens de commande 363 la fermeture du commutateur anti-surtension 250.

**[0036]** Le dispositif anti-surtension est activé prioritairement. En outre, son activation est suivie d'un processus de commutation des commutateurs C332 et C337 de manière à être sur un rapport de transformation  $K$  égal à 1 pendant une certaine durée pouvant être égale à 1 s. La désactivation du commutateur anti-surtension 350 intervient dès que la commutation des commutateurs C332 et C337 a été effectuée.

**[0037]** Ce dispositif permet à la fois de diminuer le pic de tension et la durée pendant laquelle la tension est supérieure à  $V_{max}$  soit 244 V.

**[0038]** Les moyens de contrôle comprennent des moyens 364 pour élaborer une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  à un instant de mesure  $t$  à partir des mesures de tension de sortie aux instants  $t$ ,  $t - aT$  et  $t - 2aT$ ;  $T$  étant la période entre deux mesures de la tension et  $a$  un entier. Selon un exemple particulier,  $T$  vaut 1 ms et  $a$  vaut 10. Ainsi, la valeur de tension prédite  $V_{pred}$  est élaborée à un instant  $t$ , à partir des valeurs de tension de sortie mesurées aux instants  $t - 10ms$  et  $t - 20ms$ . Un exemple de calcul de la tension prédite est donné par la formule suivante :

$$V_{pred}^2(t) = 1,8333.V^2(t) + 0,3333.V^2(t - 10ms) - 1,1667.V^2(t - 20ms).$$

**[0039]** Cette valeur prédite correspond à une valeur de tension de sortie estimée dans un avenir déterminé et ce, en tenant compte des valeurs de la tension de sortie à l'instant  $t$ , à l'instant  $t$  moins une demi-période du signal et à

l'instant  $t$  moins une période du signal.

**[0040]** De plus, les moyens de contrôle comprennent des moyens de comparaison 365 pour comparer la tension prédite  $V_{pred}$  à une tension paramétrable  $V_{min}$ . Lorsque la tension prédite  $V_{pred}$  est inférieure à la valeur de seuil  $V_{min}$ , des moyens 368 élaborent un signal apte à fournir des informations aux moyens de commande 363 de manière à ce qu'ils commandent les commutateurs selon une procédure de régulation dite "rapide" visant à revenir immédiatement à une valeur  $V_{cible}$  égale à la tension de consigne  $V_c$ . Cette consigne sera généralement choisie proche de la valeur nominale du réseau. Cette procédure sera décrite en détail dans la suite de la description.

**[0041]** Les moyens de contrôle comprennent également des moyens 367 pour calculer la vitesse de variation  $\Delta V$  de la tension de sortie  $V_s$  sur  $n$  périodes précédentes et pour comparer cette vitesse de variation à une Valeur  $V_v$  prédéterminée. Cette valeur est prise proche du produit de la tension nominale par la grandeur  $\Delta K$  qui vaut la différence entre deux rapports consécutifs  $K$ . Par exemple,  $V_v$  vaudra 6 V par 60 ms, la variation étant mesurée sur 3 périodes de la tension. Lorsque la vitesse de variation  $\Delta V$  est supérieure à  $V_v$  des moyens 368 élaborent un signal apte à fournir des informations aux moyens de commande 363 afin qu'ils commandent la fermeture des commutateurs selon une procédure dite rapide, et lorsque  $\Delta V$  est inférieur à  $V_v$  des moyens 369 élaborent un signal apte à fournir des informations aux moyens de commande 363 afin que la procédure dite "lente" soit poursuivie.

**[0042]** Les modes de régulation dites procédure "lente" et procédure "rapide" seront décrits plus en détail dans la suite de la description.

**[0043]** En outre, de préférence et par sécurité, les moyens de comparaison 361 comparent également la tension de sortie  $V_s$  à une tension prédéterminée  $V_{inf} < V_{min}$ , cette tension étant proche du seuil bas de la valeur contractuelle du distributeur. Lorsque la tension de sortie  $V_s$  est inférieure à  $V_{inf}$ , les moyens 368 élaborent un signal apte à fournir des informations aux moyens de commande 363 afin qu'ils commandent la fermeture des commutateurs selon une procédure dite "rapide".

**[0044]** On se référera maintenant à la Figure 4 pour décrire les trois procédures de régulation.

**[0045]** Dans le cas de la régulation lente, le nouveau rapport de transformation tiendra compte du précédent rapport de transformation, d'une tension "cible"  $V_{cible}$  et de la valeur de la tension à réguler  $V_{reg}$ . Tel que nous l'expliciterons plus en détail dans la suite de la description, la valeur de la tension cible  $V_{cible}$  pourra être prise égale à la valeur de la tension de consigne, laquelle sera généralement proche de la tension nominale du réseau. La tension à réguler  $V_{reg}$  pourra quant à elle valoir la tension de sortie  $V_s$  mesurée à l'instant  $t$  du déclenchement de la régulation rapide, ou la tension prédite  $V_{pred}$  à ce même instant.

**[0046]** La régulation lente vient se substituer à la régulation rapide à la triple condition que la tension de sortie ne soit pas inférieure à  $V_{inf}$ , que la tension prédite ne soit pas inférieure à  $V_{min}$ , et que les variations de la tension de sortie soient lentes ( $\Delta V < V_v$ ). Dans ces conditions, on s'autorise à changer le rapport de transformation d'un cran (c'est-à-dire qu'on passe sur le rapport immédiatement inférieur ou supérieur à celui activé précédemment) au minimum  $n_{temp}$  secondes ( $n_{temp}$  entier) après la précédente commutation des commutateurs. La durée de cette temporisation  $n_{temp}$  est calculée de manière à maintenir le scintillement en dessous du niveau de gêne (ce niveau de gêne est caractérisé par une courbe empirique reliant la variation de tension à la fréquence de cette variation).

**[0047]** Le mode de régulation "rapide" est le mode principal de régulation. Il est appelé dans plusieurs cas, et de manière différente selon chacun de ces cas : la différence réside dans les valeurs de tension cible  $V_{cible}$  et de tension à réguler  $V_{reg}$  qui interviennent dans le calcul du nouveau rapport de transformation.

**[0048]** La procédure de régulation "lente" n'autorise le passage que d'un rapport de transformation à un autre consécutif et à la fin d'une temporisation valant  $n_{temp}$  secondes ( $n_{temp}$  entier). La tension cible  $V_{cible}$  vaut alors la tension de consigne et la tension à réguler  $V_{reg}$  vaut la tension de sortie. En conséquence, l'écart constaté entre la tension de sortie  $V_s$  et la tension de consigne (qui peut valoir la tension nominale du réseau) sera réduit par une augmentation ou une diminution du rapport de transformation immédiatement supérieur ou immédiatement inférieur, ce qui correspond, dans l'exemple considéré, à une modification d'environ 2% de la tension de sortie.

**[0049]** Cette procédure est dite "lente" car les menaces qui pèsent sur les écarts de la tension de sortie  $V_s$  par rapport à la tension nominale de 230 V sont faibles. En effet, la valeur prédite ne dépasse pas le seuil prédéterminé, c'est-à-dire que la tension de sortie ne semble pas s'écarter de façon importante de la tension nominale dans un avenir déterminé, et compte tenu de sa vitesse de variation elle ne semble pas non plus s'écarter de la tension nominale dans un avenir plus proche.

**[0050]** En conséquence, l'écart constaté entre la tension de sortie  $V_s$  et la tension nominale ou la tension de consigne sera réduit par une augmentation ou une diminution du rapport de transformation immédiatement supérieur ou immédiatement inférieur, ce qui correspond, dans l'exemple considéré, à une modification d'environ 2% de la tension de sortie. Par ailleurs, la temporisation est dans ce mode, par exemple, de 18 s, c'est-à-dire que l'on maintient pendant au moins 18 s ce rapport de transformation. Compte tenu de la vitesse d'évolution de la tension de sortie, on peut raisonnablement penser que les écarts de tension ne se produiront pas dans les 18 s qui suivent, d'une part, et d'autre part le fait que la commutation intervient toutes les 18 s évite de générer un scintillement gênant pour les usagers lorsque la variation de tension est de 2%.

**[0051]** Le mode de régulation "rapide" est appelé, dans un premier cas lorsque la tension de sortie est inférieure à  $V_{inf}$ . Si l'indice de fiabilité que l'on a de la valeur de tension prédite  $V_{pred}$  est bon, la valeur cible  $V_{cible}$  pour le calcul du nouveau rapport de transformation vaudra la tension de consigne  $V_C$  (proche de la tension nominale généralement), et dans le cas contraire,  $V_{cible}$  vaudra une valeur comprise entre  $V_{inf}$  et  $V_C$ . La notion d'indice de fiabilité sera décrite

lors de la description complète de l'organigramme de régulation.

**[0052]** Dans un second cas, elle est appelée lorsque  $V_{pred}$  est inférieure à  $V_{min}$ . Si l'indice de fiabilité est bon,  $V_{cible}$  vaudra  $V_C$ , et la tension à réguler  $V_{reg}$  vaudra la tension de sortie  $V_S$ . Dans le cas où la fiabilité est insuffisante, aucune action n'est déclenchée. On comprend que ce test permet d'anticiper une baisse de  $V_S$  en-dessous de  $V_{inf}$ , mais la régulation n'est alors déclenchée que si cette prédiction est fiable.

**[0053]** Dans un dernier cas, la régulation "rapide" est appelée lorsque la variation de tension de sortie est supérieure à  $V_v$ . De même que dans le cas précédent, aucune action n'est déclenchée si la fiabilité est insuffisante.

**[0054]** La procédure de régulation "lente" est quant à elle choisie dans les autres cas, c'est-à-dire lorsque la tension de sortie  $V_S$  est inférieure à  $V_{max}$  et à la triple condition que  $V_{eff}$  soit supérieure à  $V_{inf}$ , que  $V_{pred}$  soit supérieure à  $V_{min}$  et que  $V$  soit inférieure à  $V_v$ .

**[0055]** Dans les deux modes de régulation on élabore selon 470 le rapport de transformation à appliquer pour revenir le plus rapidement à la valeur cible  $V_{cible}$ . Dans le cas de la régulation rapide, si le moyen de test 471 montre que ce rapport n'est pas égal au précédent, on détermine les contacteurs à fermer 474 et on active la procédure de commande 475. Dans le cas de la régulation lente; on passe sur le rapport de transformation immédiatement inférieur ou immédiatement supérieur selon 473 puis on élabore un signal apte à donner aux moyens de commande des indications sur les commutateurs à fermer, lesdits moyens de commande activant 475 et désactivant les commutateurs correspondants.

**[0056]** On fera référence à la Figure 5 pour décrire l'organigramme complet de fonctionnement de l'ensemble adaptateur de tension.

**[0057]** Cet organigramme comporte une étape de test correspondant à un choix conditionnel de régulation en fonction de l'indice de fiabilité de la valeur de tension prédite  $V_{pred}$  déjà mentionnée dans la description. Cet indice de fiabilité permet de savoir si la prédiction que l'on a faite de la valeur de tension dans un avenir déterminé est bonne ou mauvaise. Avantagusement, cet indice de fiabilité est mesuré par le calcul de la variance associée au calcul de la valeur prédite. Tout comme pour le calcul de la tension prédite, de manière générale, on calcule à l'instant  $t$ , en fonction des valeurs de la tension aux instants  $t$ ,  $t - aT$  et  $t - 2aT$ , une variance associée. En reprenant l'exemple donné pour le calcul de  $V_{pred}$  aux instants  $t$ ,  $t - 10$  ms et  $t - 20$  ms, la variance associée est calculée par l'expression :

$$\text{Var}(t) = 0,8975.V^2(t) - 1,795.V^2(t - 10\text{ms}) + 0,8975.V^2(t - 20\text{ms})$$

Plus la variance est faible et plus la prédiction sur la valeur de tension est bonne. Par conséquent, on détermine un seuil en dessus duquel on estime que la valeur de la tension prédite  $V_{pred}$  est mauvaise, et c'est cette valeur de variance seuil qui conditionne, dans certains cas, telle ou telle régulation.

**[0058]** De façon préférentielle, le processus de régulation est commandé par un automate programmable qui conformément audit organigramme de la Figure 4 ordonne tout d'abord, selon le premier test 582, de comparer la valeur de la tension de sortie  $V_S$  avec la tension maximale  $V_{max}$ .

**[0059]** Si la tension de sortie est supérieure à  $V_{max}$ , le mode anti-surtension 583 est déclenché. Néanmoins, il est un cas où la résistance anti-surtension ne sera pas connectée lorsque  $V_S > V_{max}$  : c'est celui où la surtension est provoquée par un déséquilibre du réseau. Ce cas est détecté par le fait que l'on a une surtension alors même que le rapport de transformation  $k.k'$  est inférieur à la borne supérieure prévue par la norme, soit 6% dans le cas des zones rurales en France.

**[0060]** Dans le cas où la tension de sortie est inférieure à  $V_{max}$ , le processeur de l'automate effectue un deuxième test 584 comparant la valeur de la tension de sortie avec la valeur  $V_{inf}$  équivalent, par exemple, à 207 V (c'est-à-dire - 10% de la valeur nominale 230 V). Si la tension de sortie est inférieure à  $V_{inf}$ , le processeur effectue un troisième test 585 sur la variance, et si elle est inférieure au seuil il déclenche le mode de régulation "rapide" 586, avec une valeur  $V_{cible}$  égale à la consigne  $V_C$ , sinon il déclenche le mode de régulation "rapide" 587 avec une valeur de cible  $V_{cible}$  comprise entre  $V_{min}$  et  $V_C$ .

**[0061]** Si la tension de sortie est supérieure à  $V_{inf}$ , un quatrième test 588 portant sur la valeur de la tension prédite est réalisé. Si  $V_{pred}$  est inférieure à  $V_{min}$ , un cinquième test 589 sur la variance est réalisé, et si elle est inférieure au seuil, le mode de régulation "rapide" 590 est déclenché; sinon aucun nouveau mode de régulation n'est déclenché.

**[0062]** Si la tension prédite est supérieure à  $V_{min}$ , un sixième test 591 compare la vitesse de variation de la tension sur les  $n$  dernières périodes (par exemple  $n = 3$ ) et si cette variation  $\Delta V$  est inférieure à  $V_v$ , le test 595 est effectué, si son résultat est négatif, la fin de la temporisation est attendue et si son résultat est positif le mode de régulation "lent" 593 est déclenché, si cette variation  $\Delta V$  est supérieure à  $V_v$  un dernier test 592 compare la variance associée à la

valeur de la tension prédite à la valeur seuil. A l'issue de cette comparaison, le mode de régulation "rapide" 594, est déclenché si la variance est inférieure audit seuil, avec une valeur cible  $V_{cible}$  égale à la tension de sortie  $\underline{n}$  périodes plus tôt et une valeur à réguler  $V_{reg}$  égale à la tension de sortie à l'instant  $\underline{t}$ , sinon aucun nouveau mode de régulation n'est déclenché.

**[0063]** La description faite ci-dessus envisage d'effectuer une régulation sur un réseau monophasé. En revanche, de façon préférentielle, l'ensemble adaptateur selon l'invention, comprend en outre, dans le cas d'un réseau triphasé, une pluralité de moyens pour faire la somme des tensions sur chacune des phases. Lesdits moyens étant physiquement indépendants sur chacune des phases.

**[0064]** En effet, cette configuration permet de s'affranchir des couplages électromagnétiques entre phases au niveau des transformateurs. Les moyens diviseurs de tension demeurent avec un primaire couplé étoile.

## Revendications

1. Ensemble adaptateur de tension comportant, un dispositif d'adaptation de tension auquel est appliqué une tension d'entrée  $V_E$  à adapter et muni de moyens diviseurs de tension pour élaborer une tension additionnelle  $V_D$  égale à  $kV_E$ , des moyens pour faire la somme (118) de ladite tension d'entrée  $V_E$  et d'une fraction de ladite tension additionnelle  $V_D$ , des moyens pour appliquer une tension  $V_S$  à la sortie dudit dispositif d'adaptation, des moyens pour mesurer (116, 354) ladite tension de sortie  $V_S$ ; et des moyens de contrôle (112) pour élaborer une information représentative du rapport  $\underline{k}$  à appliquer audit diviseur de tension,

**caractérisé en ce que** lesdits moyens de mesure (354) délivrent, avec une périodicité  $T$ , des valeurs de tensions de sortie ;

**et en ce que** lesdits moyens de contrôle (360) comprennent :

- des moyens (364) pour élaborer une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  en fonction desdites valeurs de tensions de sortie ;
- des moyens (365, 368) pour comparer la tension prédite  $V_{pred}$  à une valeur prédéterminée  $V_{min}$  et pour déclencher une procédure de régulation rapide si  $V_{pred} < V_{min}$ ; et,
- des moyens (367) pour calculer la variation de la tension de sortie  $\Delta V$  sur un nombre  $\underline{n}$  de périodes de mesure, et pour comparer, si  $V_{pred} > V_{min}$ , ladite variation de tension calculée à une valeur  $V_v$  prédéterminée de variation de tension et pour déclencher ladite procédure de régulation rapide si  $\Delta V > V_v$  et pour déclencher une procédure de régulation lente dans le cas contraire.

2. Ensemble adaptateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre un commutateur de surtension (250) et une résistance anti-surtension (252) montés en parallèle sur lesdits moyens pour faire la somme (118) des tensions, et des moyens (363) pour commander l'état ouvert ou fermé dudit commutateur (250).

3. Ensemble adaptateur selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** lesdits moyens (364) pour élaborer une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  élaborent une valeur de tension prédite  $V_{pred}$  à un instant de mesure  $\underline{t}$  à partir des mesures de tension de sortie aux instants  $\underline{t}$ ,  $\underline{t} - aT$  et  $\underline{t} - 2aT$ .

4. Ensemble adaptateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de contrôle (112) comprennent en outre des moyens pour comparer (361) ladite tension de sortie mesurée  $V_S$  à une tension prédéterminée  $V_{max} > V_{min}$  et des moyens (362) pour élaborer un signal de fermeture dudit commutateur de surtension (250) si ladite tension de sortie est supérieure à  $V_{max}$ .

5. Ensemble adaptateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de contrôle (360) comprennent en outre des moyens (361) pour comparer ladite tension de sortie mesurée  $V_S$  à une tension prédéterminée  $V_{inf} < V_{min}$  et des moyens (368) pour déclencher, si ladite tension mesurée est inférieure à  $V_{inf}$ , ladite procédure de régulation rapide.

6. Ensemble adaptateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre, dans le cas d'un réseau triphasé, une pluralité de moyens pour faire la somme des tensions sur chacune des phases, par quoi lesdits moyens pour faire la somme des tensions sont physiquement indépendant sur chacune des phases.

## Patentansprüche

1. Spannungsadaptiereinheit umfassend eine Vorrichtung zum Angleichen der Spannung, an die eine anzugleichende Eingangsspannung  $V_E$  angelegt wird und die mit Spannungsteilmitteln versehen ist, um eine Zusatzspannung  $V_D$  zu erstellen, die gleich  $kV_E$  ist, Mittel, um die Summe (118) aus der Eingangsspannung  $V_E$  und einem Bruchteil der Zusatzspannung  $V_D$  zu berechnen, Mittel zum Anlegen einer Spannung  $V_S$  an den Ausgang der Adaptervorrichtung, Mittel (116, 354) zum Angleichen der Ausgangsspannung  $V_S$  und Steuermittel (112), um eine Information zu erstellen, die für das Verhältnis  $k$  repräsentativ ist, das beim Spannungsteiler anzuwenden ist,

**dadurch gekennzeichnet,**

**daß** die Meßmittel (354) Ausgangsspannungswerte mit einer Häufigkeit  $T$  liefern, und **dadurch,**  
**daß** die Steuermittel (360) umfassen:

- Mittel (364) zum Erstellen eines vorhergesagten Spannungswertes  $V_{pred}$  in Abhängigkeit von den Ausgangsspannungswerten;
- Mittel (365, 368) zum Vergleichen der vorhergesagten Spannung  $V_{pred}$  mit einem vorbestimmten Wert  $V_{min}$  und zum Auslösen eines schnellen Regelungsverfahrens, falls  $V_{pred} < V_{min}$ , und
- Mittel (367) zum Berechnen der Abweichung der Ausgangsspannung  $\Delta V$  bei einer Anzahl  $n$  von Meßperioden und um, falls  $V_{pred} > V_{min}$ , die berechnete Spannungsabweichung mit einem vorbestimmten Spannungswert  $V_V$  zu vergleichen und um das schnelle Regelungsverfahren auszulösen, falls  $\Delta V > V_V$ , und um im entgegengesetzten Fall ein langsames Regelungsverfahren auszulösen.

2. Adaptiereinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie ferner einen Überspannungsschalter (250) und einen Anti-Überspannungswiderstand (252), die parallel auf den Mitteln befestigt sind, um die Summe (118) der Spannungen zu berechnen, und Mittel (363) für das Steuern des offenen oder geschlossenen Zustands des Schalters (250) umfaßt.

3. Adaptiereinheit nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Mittel (364) zum Erstellen eines vorhergesagten Spannungswertes  $V_{pred}$  einen vorhergesagten Spannungswert  $V_{pred}$  zu einem Meßzeitpunkt  $t$  ausgehend von den Ausgangsspannungsmessungen zu den Zeitpunkten  $t$ ,  $t - aT$  und  $t - 2aT$  erstellen.

4. Adaptiereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuermittel (112) ferner Mittel (361) zum Vergleichen der gemessenen Ausgangsspannung  $V_S$  mit einer vorbestimmten Spannung  $V_{max} > V_{min}$  und Mittel (362) zum Erstellen eines Schließsignals des Überspannungsschalters (250) umfassen, wenn die Ausgangsspannung über  $V_{max}$  liegt.

5. Adaptiereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuermittel (360) ferner Mittel (361), um die gemessene Ausgangsspannung  $V_S$  mit einer vorbestimmten Spannung  $V_{inf} < V_{min}$  zu vergleichen, und Mittel (368) umfassen, um das schnelle Regelungsverfahren auszulösen, falls die gemessene Spannung geringer als  $V_{inf}$  ist.

6. Adaptiereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie ferner - im Fall eines Dreiphasennetzes - mehrere Mittel umfaßt, um die Summe der Spannungen auf jeder der Phasen zu berechnen, wobei die Mittel zum Berechnen der Summe der Spannungen physisch auf jeder der Phasen unabhängig sind.

## Claims

1. Voltage adapter unit comprising a voltage adaptation device to which is applied an input voltage  $V_E$  to be adapted and provided with voltage divider means for generating an additional voltage  $V_D$  equal to  $kV_E$ , means (118) for summing said input voltage  $V_E$  and a fraction of said additional voltage  $V_D$ , means for applying a voltage  $V_S$  to the output of said adaptation device, means (116, 354) for measuring said output voltage  $V_S$ ; and monitoring means (112) for generating information representative of the ratio  $k$  to be applied to said voltage divider, **characterised in that** said measurement means (354) deliver output voltage values with a periodicity  $T$ ; and **in that** said monitoring means (360) comprise:

- means (364) for generating a predicted voltage value  $V_{pred}$  as a function of said output voltage values;
- means (365, 368) for comparing the predicted voltage  $V_{pred}$  with a predetermined value  $V_{min}$  and for starting



up a fast regulation procedure if  $V_{\text{pred}} < V_{\text{min}}$ ; and

- means (367) for calculating the variation of the output voltage  $\Delta V$  over a number  $n$  of measurement periods and, if  $V_{\text{pred}} > V_{\text{min}}$ , for comparing said calculated voltage variation with a predetermined voltage variation value  $V_v$  and for starting up said fast regulation procedure if  $\Delta V > V_v$  and for starting up a slow regulation procedure in the opposite case.

2. Adapter unit according to Claim 1, **characterised in that** it further comprises an overvoltage switch (250) and an anti-overvoltage resistor (252) mounted in parallel on said means (118) for summing the voltages, and means (363) for controlling the open or closed state of said switch (250).

3. Adapter unit according to Claim 1 or 2, **characterised in that** said means (364) for generating a predicted voltage value  $V_{\text{pred}}$  generate a predicted voltage value  $V_{\text{pred}}$  at a measurement time  $t$  on the basis of the measurements of output voltage at the times  $t$ ,  $t - aT$  and  $t - 2aT$ .

4. Adapter unit according to any one of Claims 1 to 3, **characterised in that** said monitoring means (112) further comprise means (361) for comparing said measured output voltage  $V_S$  with a predetermined voltage  $V_{\text{max}} > V_{\text{min}}$  and means (362) for generating a signal to close said overvoltage switch (250) if said output voltage is greater than  $V_{\text{max}}$ .

5. Adapter unit according to any one of Claims 1 to 3, **characterised in that** said monitoring means (360) further comprise means (361) for comparing said measured output voltage  $V_S$  with a predetermined voltage  $V_{\text{inf}} < V_{\text{min}}$  and means (368) for starting up said fast regulation procedure if said measured voltage is lower than  $V_{\text{inf}}$ .

6. Adapter unit according to any one of Claims 1 to 5, **characterised in that** it further comprises, in the case of a three-phase network, a plurality of means for summing the voltages on each of the phases, by which said means for summing the voltages are physically independent on each of the phases.

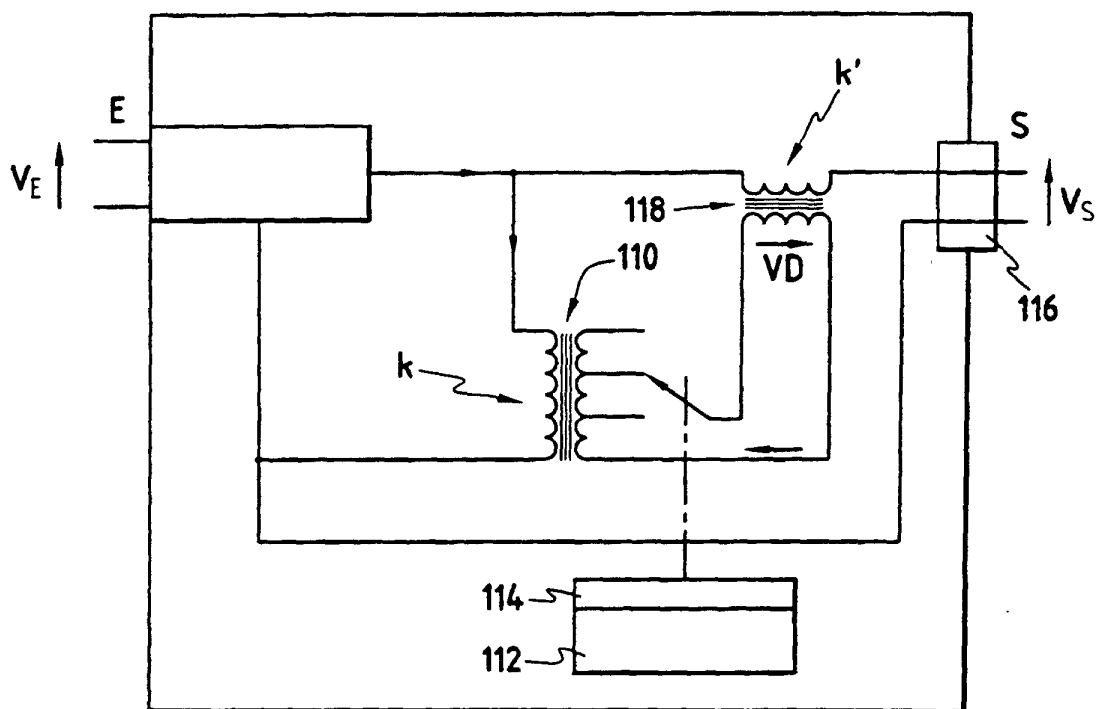


FIG.1

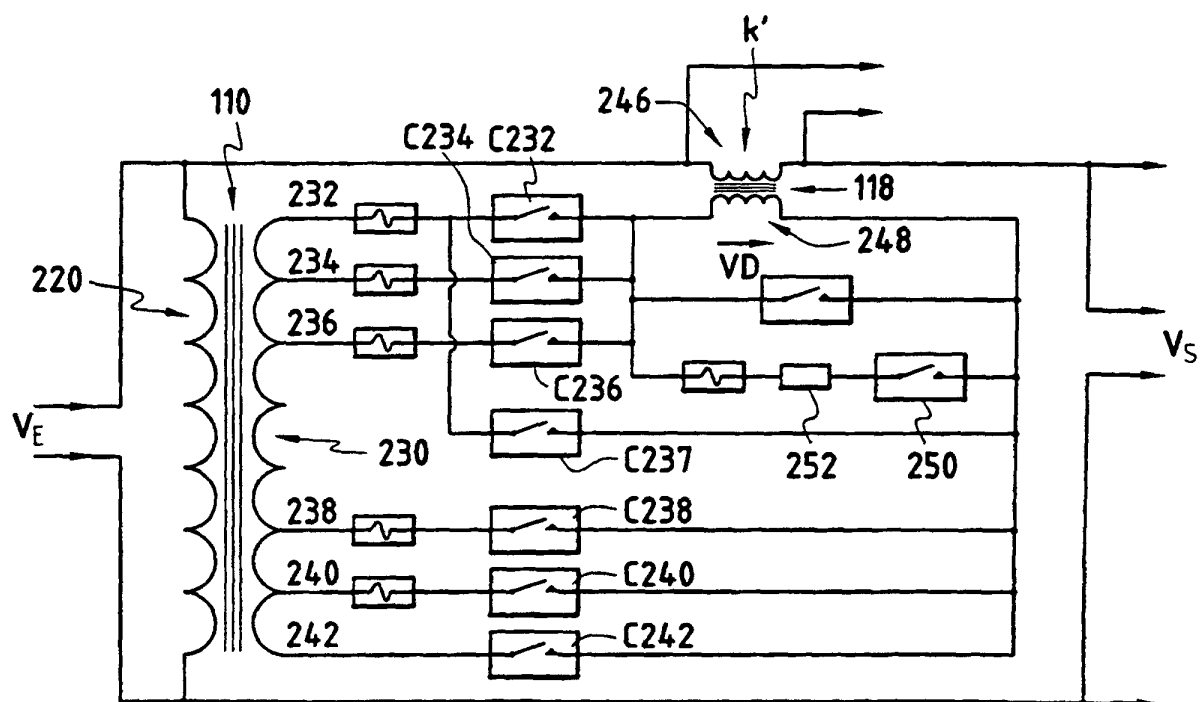
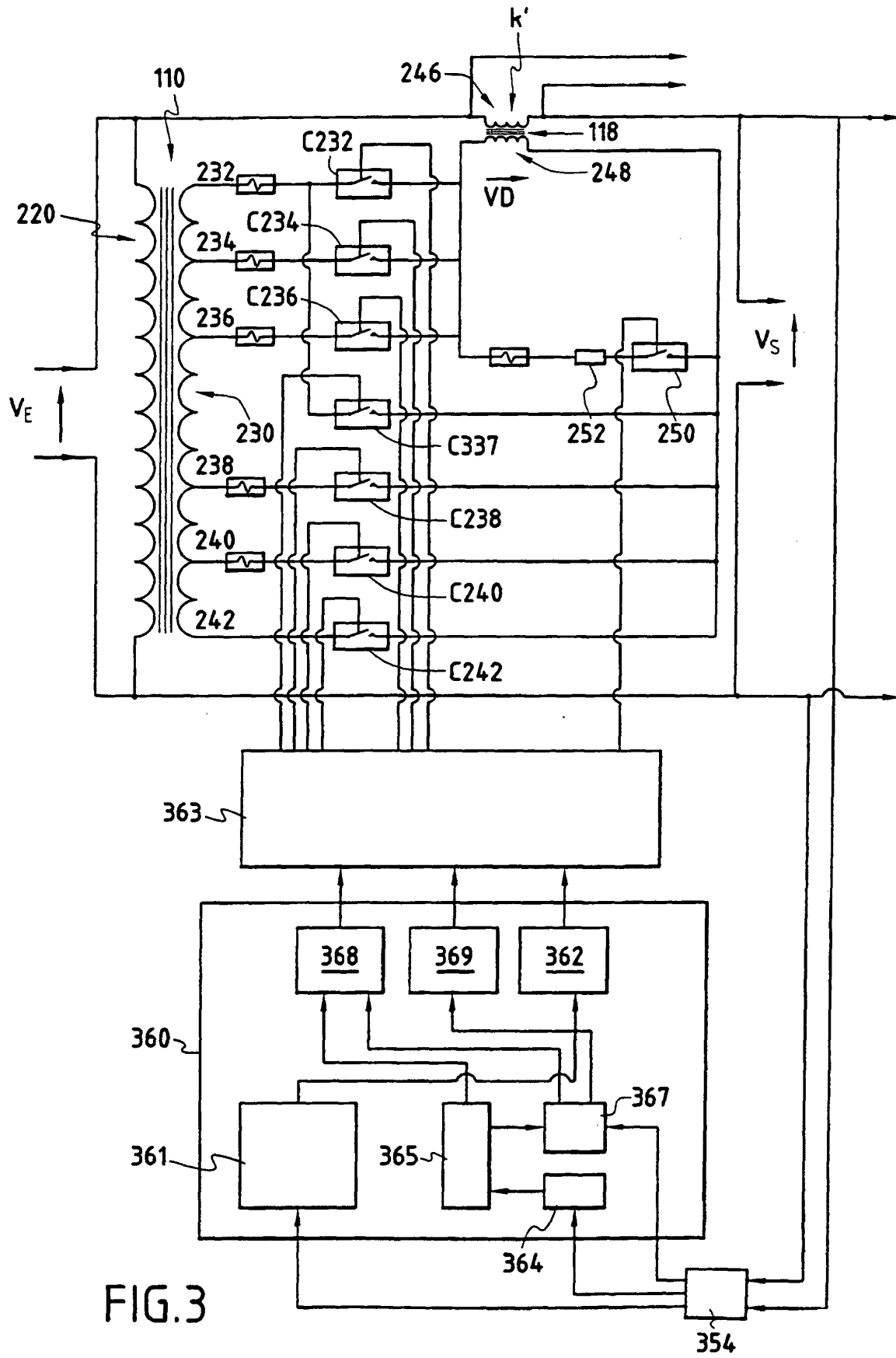


FIG.2



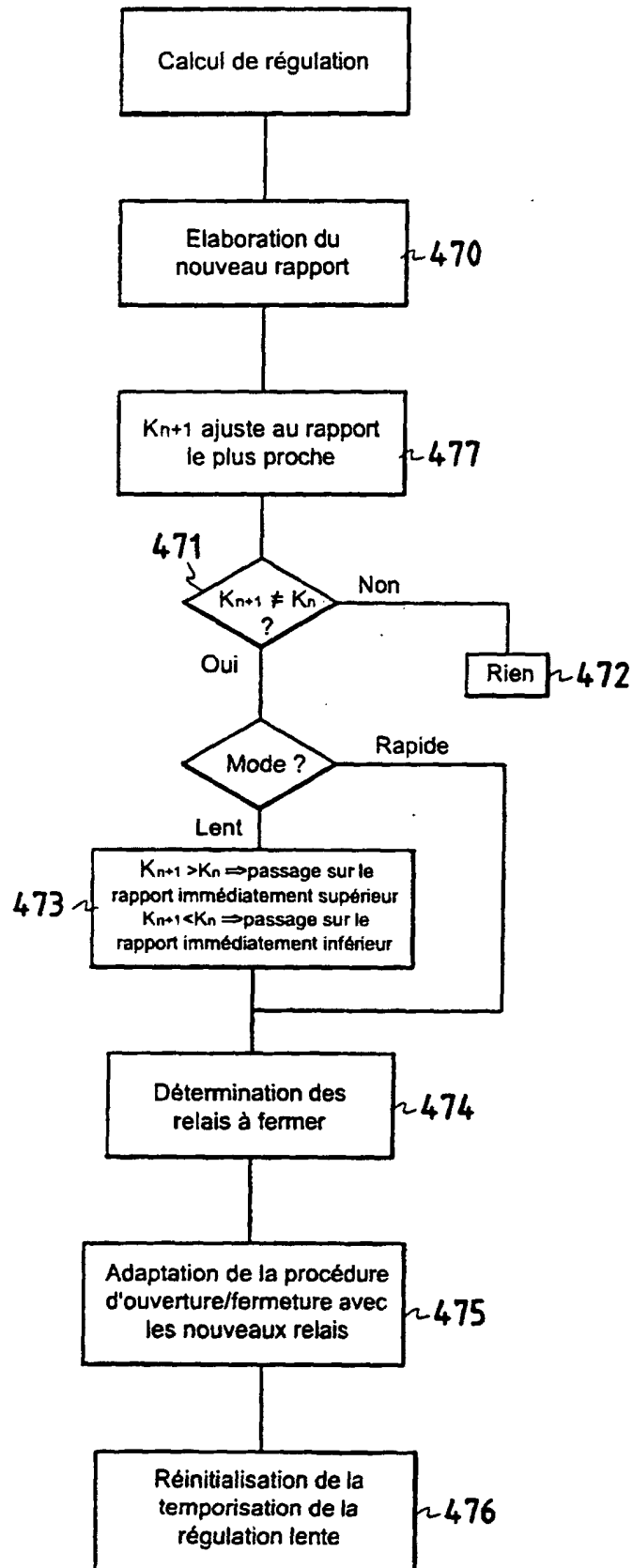


FIG.4

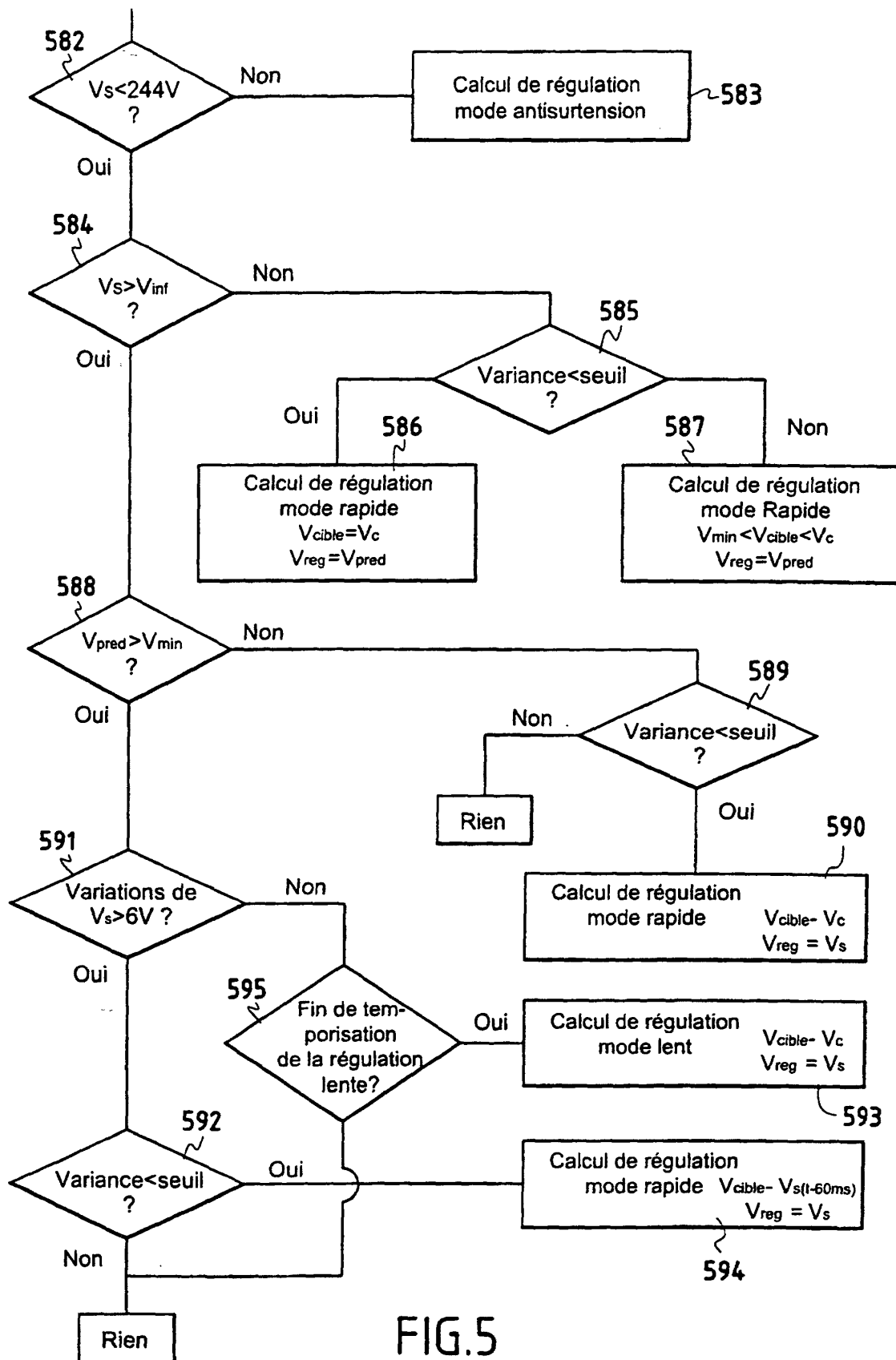


FIG.5