(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 654 231**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **89 14459**

(51) Int Cl[5] : G 05 D 13/06

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 03.11.89.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 10.05.91 Bulletin 91/19.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE NATIONAL* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Gerardin Michel et Lemoine Michel.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :** Cabinet Lavoix.

(54) Dispositif de réduction et de stabilisation des vibrations torsionnelles pour turbo-alternateurs.

(57) Dispositif de réduction et de stabilisation des vibrations torsionnelles des lignes d'arbres de groupes turbo-alternateurs comprenant un régulateur de tension à quatre boucles tel que la transmittance en boucle ouverte Δ ce/Pce initiale présente des caractéristiques de déphasage et de gain φ o et Go, qui comporte une boucle de mesure de la tension statorique, une boucle de mesure de la vitesse de rotation du turbo-alternateur, une boucle de commande de la puissance électrique produite et une boucle de mesure de la pression à l'entrée du premier étage de la turbine du turbo-alternateur, lesdites boucles aboutissant toutes à un sommateur des signaux qu'il reçoit des quatre boucles, correspondant à des grandeurs stabilisatrices, la boucle de commande de vitesse comprenant des moyens (10, 12) de mesure d'une période déterminée de rotation de l'alternateur, des moyens (14) de filtrage de la tension issue des moyens de mesure, des moyens (20) d'amplification et de filtage passe-haut destinés à ne conserver que les signaux correspondant aux variations rapides de vitesse et des moyens de filtrage destinés à éliminer le bruit de faible amplitude.

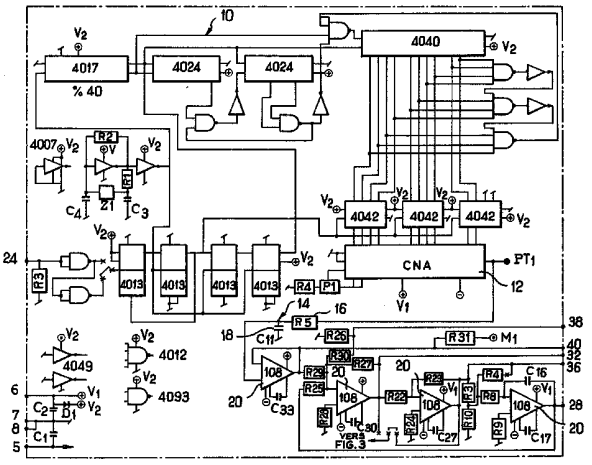


FIG.3

FR 2 654 231 - A1

La présente invention est relative à la stabilisation du fonctionnement des alternateurs générateurs de courant électrique et se rapporte plus particulièrement à un dispositif de réduction et de stabilisation des vibrations torsionnelles des lignes d'arbres de groupes turbo-alternateurs.

On a décrit au brevet français n° 80 02 425 du 5 février 1980 ayant pour titre " Procédé de régulation auto-adaptative du fonctionnement d'un groupe turbo-alternateur et régulateur mettant en oeuvre ce procédé ", déposé par la Demanderesse, un régulateur de tension dit " 4 boucles " conçu pour améliorer principalement la stabilité statique des groupes turbo-alternateurs.

Le dispositif de l'invention vise à être intégré au régulateur précité.

L'instabilité torsionnelle est l'entretien ou l'amplification des vibrations naturelles de torsion de la ligne d'arbre d'un groupe, par les variations du couple électrique de ce groupe raccordé à un réseau. Le phénomène peut entraîner la détérioration de matériels coûteux. Il s'interprète classiquement par un processus en boucle fermée tel que résumé ci-après.

Dès lors qu'il est animé d'un mouvement de rotation vibratoire (de fréquence F_N généralement comprise entre 5 et 30 Hz), superposé à son mouvement de rotation synchrone (correspondant à la fréquence synchrone F_o généralement de 50 ou 60 Hz), un rotor d'alternateur engendre des champs tournants parasites correspondant à des fréquences dites hypo et hypersynchrones $F_o \pm F_N$. Des courants et tensions parasites de mêmes fréquences apparaissent alors dans le réseau.

Les courants et tensions hyposynchrones

ainsi que les couples vibratoires électriques qui les accompagnent possèdent une propension naturelle à recevoir un appoint énergétique. Cet appoint renforce les mouvements vibratoires d'origine et referme la boucle du processus.

L'appoint énergétique de fréquence hyposynchrone résulte de la conjonction de facteurs antagonistes à savoir :

- les alternateurs, de vitesse synchrone, couplés au réseau, sont générateurs asynchrones d'énergie pour les fréquences inférieures à F_o et notamment pour la fréquence hyposynchrone $F_o - F_N$;
- les charges passives sont réceptrices d'énergie;
- selon leur type de régulation, les stations de conversion de courant alternatif en courant continu peuvent avoir l'un et l'autre de ces deux comportements.

Il peut, enfin, y avoir coincidence entre une fréquence de résonance de réseau (en cas d'association de condensateurs "série" aux lignes) et une fréquence hyposynchrone $F_o - F_N$ de ligne d'arbre. Dans ce cas, la circulation des courants hyposynchrones est facilitée, et le processus d'apparition de courants et de tensions parasites ainsi que le renforcement des mouvements vibratoires précités sont singulièrement accentués.

Les brèves considérations indiquées ci-dessus situent l'invention en soulignant l'effet déstabilisateur, sur les vibrations torsionnelles des lignes d'arbres, des alternateurs eux-mêmes, des condensateurs et, occasionnellement, des stations de conversion du courant alternatif en courant continu. L

L'invention a pour but une amélioration de la régulation de tension dite "4 boucles " utilisée

pour de nombreux groupes nucléaires et thermiques français ou étrangers. Elle intervient donc au point névralgique des instabilités torsionnelles en agissant directement au niveau des couples électriques oscillatoires des alternateurs. En outre, l'invention vise à créer des moyens qui soient d'emblée compatibles avec les performances d'origine du régulateur de tension " 4 boucles " (visant à donner la meilleure stabilité statique aux groupes), puisqu'elle est intégrée par principe à ce dernier.

Elle a donc pour objet un dispositif de réduction et de stabilisation des vibrations torsionnelles des lignes d'arbres de groupes turbo-alternateurs, caractérisé en ce qu'il comprend un régulateur à quatre boucles initial tel que la transmittance en boucle ouverte initiale Δ Ce/PCe présente des caractéristiques de déphasage et de gain φ o et Go, qui comporte une boucle de mesure de la tension statorique, une boucle de mesure de la vitesse de rotation du turbo-alternateur, une boucle de mesure de la puissance électrique consommée et une boucle de mesure de la pression à l'entrée du premier étage de la turbine du turbo-alternateur, lesdites boucles aboutissant toutes à un sommateur des signaux qu'il reçoit des quatre boucles, correspondant à des grandeurs stabilisatrices, la boucle de mesure de vitesse initiale comprenant des moyens de mesure d'une période déterminée de rotation de l'alternateur, des moyens de filtrage de la tension issue des moyens de mesure, des moyens d'amplification et de filtage passe-haut destinés à ne conserver que les signaux correspondant aux variations rapides de vitesse et des moyens de filtrage destinés à éliminer le bruit de faible amplitude.

Suivant une autre caractéristique, lesdits moyens de filtrage de la tension issue des moyens de mesure de la période de rotation sont complétés par un nouveau filtre de déphasage φ et de gain G, fonctions desdits déphasage φ o et gain Go, le nouveau filtre présente pour les fréquences comprises entre 0,5 et 2 Hz, des caractéristiques de déphasage comprises dans la plage $-30° \leq \varphi \leq +30°$ et des caractéristiques de gain $G = 1 \pm 0,15$ et pour la fréquence critique F_N comprise entre 5 et 30 Hz, des caractéristiques de déphasage comprises dans la plage $160° \leq (\varphi + \varphi o) \leq 200°$ et des caractéristiques de gain $GGo = 4 \pm 1$, et le nouveau filtre présente pour les autres fréquences comprises entre 5 et 30 Hz, une caractéristique de phase $\varphi + \varphi o$ indifférente et une caractéristique de gain satisfaisant aux relations suivantes :

$GGo \leq 5$ pour $90° < (\varphi + \varphi o) < 270°$

$GGo \leq 0,1$ pour $-90° < (\varphi + \varphi o) < 90°$

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Fig.1 est un schéma synoptique d'un régulateur de tension "4 boucles" auquel s'applique la présente invention;

- les Fig.2 et 3 sont des schémas plus détaillés de la voie de vitesse du régulateur de la Fig.1;

- la Fig.4 est un schéma de la transmittance du système alternateur, lignes d'arbres, réseau et régulation, lequel définit en outre la transmittance en boucle ouverte $\Delta Ce/PCe$ précitée;

- la Fig.5 est un schéma de la transmittance réduite du système de la Fig.4;

- les Fig.6 et 7 sont des diagrammes montrant des gabarits de filtres appliqués à la voie de vitesse d'un régulateur " 4 boucles " suivant l'invention, dans un cas réel d'application;

- les Fig.8 et 9 sont des diagrammes représentant l'amortissement des oscillations de torsion avec une voie de vitesse initiale et avec une voie de vitesse suivant l'invention, respectivement.

Avant de procéder à la description de l'invention proprement dite, on va donner ci-après une brève description du régulateur de tension dit " 4 boucles" auquel l'invention s'applique tout particulièrement.

Le régulateur de tension dit " 4 boucles" résulte d'une mise en oeuvre du " Procédé de régulation auto-adaptatif " objet du brevet d'invention d'Electricité de France, déposé le 5 février 1980 sous le n° 80 02 425.

Ce régulateur est destiné à améliorer les performances de tenue de tension et de stabilité statique d'un alternateur raccordé à un réseau électrique, dans des conditions de fonctionnement définies, par ailleurs, dans un cahier des charges.

Les quatre boucles stabilisatrices du régulateur de tension utilisent les variations de la tension, de la vitesse, de la puissance électrique, et de la pression de la vapeur à l'entrée du premier étage de la turbine d'un groupe, comme base d'élaboration de grandeurs stabilisatrices de l'alternateur.

Le régulateur représenté à la Fig.1 comporte principalement une boucle de tension 1, une boucle de vitesse 2, une boucle de puissance 3 et une boucle de pression 4 à l'entrée du premier étage de la turbine d'un groupe (non représenté).

Les quatre boucles précitées sont connectées à un sommateur 5 qui en fonction des signaux qu'il reçoit des boucles élabore des signaux correspondant aux grandeurs stabilisatrices.

Le circuit de la Fig.1 est complété par une boucle 6 de mesure de l'angle interne connectée au sommateur 5 et par une boucle 7 de mesure du courant d'excitation de l'alternateur connectée en aval du sommateur 5.

Les différents gains KO, K1, K3 et K4 du schéma de la Fig.1 sont optimisés en vue de stabiliser le groupe, et notamment pour que ses réponses indicielles aux perturbations soient des fonctions apériodiques de troisième ordre.

L'optimisation est effectuée pour les conditions de fonctionnement définies au cahier des charges.

Toutefois, dans le brevet précité, on ne mentionne pas la réduction des instabilités vibratoires torsionnelles.

Cet objectif ne s'imposait pas au moment de la conception du régulateur de tension " 4 boucles ". D'ailleurs, le domaine fréquentiel 0,5 à 2 Hz des instabilités statiques dans lequel intervient le régulateur du brevet précité diffère sensiblement du domaine fréquentiel 5 à 30 Hz des instabilités torsionnelles, que la présente invention vise à stabiliser et à réduire.

L'invention vise une amélioration de la voie de vitesse du régulateur de tension " 4 boucles " antérieur, correspondant à la boucle 2 du circuit de la Fig.1.

D'origine, la boucle de commande de vitesse consiste en une carte électronique de technologie di-

gitale et analogique schématisée aux figures 2 et 3. Elle comporte les fonctions suivantes obtenues indifféremment par l'une ou l'autre de deux variantes dénommées dans ce qui suit "carte période 10 bits " et " carte période 12 bits ".

a) Mesure de la période de rotation sur un demi-tour de l'alternateur (pour la carte " 10 bits "), ou sur un tour complet (pour la carte "12 bits"). Ceci est obtenu à partir d'un comptage d'impulsions, suivi d'une conversion digitale analogique. Cette fonction est matérialisée par un circuit de comptage d'impulsions 10 auquel est connecté un convertisseur numérique-analogique 12 appelé ci-après " CNA ". La tension résultante à la sortie du " CNA " 12 varie de 1 volt lorsque la fréquence détectée, image de la vitesse de l'alternateur, varie de 1 Hz. Le gain électronique correspondant est donc de 1 volt par Hz.

b) Filtrage de la tension issue du " CNA " 12 par un circuit passe-bas 14 formé d'une résistance 16 et d'un condensateur 18 et conçu pour une fréquence de coupure délibérément importante 160 Hz.

c) Amplification et filtrage passe-haut par un circuit dit " d'écart par rapport à la moyenne glissante " indiqué par la référence 20 à la figure 2 et dont le rôle est de conserver seulement les signaux correspondant aux variations rapides de vitesse. La transmittance de Laplace de ce circuit a l'expression suivante :

$$10\ T_p/(1 + T_p)$$

T vaut respectivement 5 et 1,3 secondes pour les cartes " 10 bits " et " 12 bits ".

d) Second filtrage, obtenu par le circuit 22, dit de " bande morte " représenté à la Fig.3. Ce circuit élimine le bruit de faible amplitude inclus

dans les bandes ± 150 mV et ± 30 mV respectivement pour les cartes " 10 bits " et " 12 bits ". Les bandes mortes de mesure de fréquence corrélatives sont respectivement ± 15 mHz et ± 3 mHz.

e) Répartition du gain K2 de la boucle de vitesse entre la "carte de période " à proprement parler (circuits 10 à 22 des Fig.2 et 3) et le sommateur 5 de la Fig.1. La valeur typique du gain est de 10 volts par Hz à la sortie de la "carte de période" et de 60 volts par Hz à la sortie du sommateur 5.

L'invention réside dans l'adjonction d'un nouveau filtre à la "carte période" de la Fig.2 à l'emplacement du circuit RC 14.

La specification du nouveau filtre se situe sur deux plans :

a) la réduction des vibrations torsionnelles des lignes d'arbres à une fréquence typique F_N située dans la bande 5 - 30 Hz ;

b) la stricte conservation voire l'amélioration des performances d'origine du régulateur de tension " 4 boucles ", en ce qui concerne la stabilité statique des groupes aux fréquences usuelles : 0,5 à 2 Hz environ.

L'analyse théorique du dispositif de l'invention va maintenant être faite en référence aux Fig.4 et 5.

Les Fig.4 et 5 donnent le synoptique de la transmittance du système bouclé comprenant l'alternateur, la ligne d'arbres, le réseau et les régulations. Cette transmittance détermine les variations de vitesse rotoriques $\Delta\omega_{alt}$ en fonction des perturbations accidentelles Pce du couple électrique.

Les composants principaux de cette transmittance apparaissent à la Fig.5, à savoir :

a) L(p) : transmittance mécanique entre variation de couple électrique à l'entrée et de vitesse rotorique à la sortie.

b) A(p) : transmittance entre tension électronique issue de la carte période et couple électrique. Elle englobe l'alternateur couplé au réseau, son circuit d'excitation, et son régulateur de tension muni de toutes ses boucles stabilisatrices hormis celle de vitesse.

c) Λ(p) : transmittance de la carte période décrite en référence aux Fig.2 et 3. Son signal d'entrée est la vitesse rotorique.

Le produit des trois fonctions L(p) A(p) Λ(p) ci-dessus est la transmittance en boucle ouverte T(p) du système complet.

La transmittance du même système en boucle fermée prend la forme :

$$\frac{\Delta\omega_{alt}}{Pce} = L(p) / (1 - T(p))$$

mais il faut considérer le comportement du système plus particulièrement aux fréquences réellement critiques c'est à dire celles proches d'une fréquence de résonance torsionnelle naturelle : $F_N = 2\omega_N$.

A une fréquence F_N, les fonctions L(p), T(p) et $\Delta\omega$ alt/Pce possèdent des formes canoniques où apparaissent des termes L et T, lentement variables en module et phase, et un trinôme caractéristique d'une résonance mécanique, très rapidement variable en fonction de la fréquence.

$$\begin{cases} L(p) = 2j\,\xi\,\bar{L} / \left\{1 + 2\,\xi\,\frac{p}{\omega_N} + \frac{p^2}{\omega_N^2}\right\} \\ T(p) = 2j\,\xi\,\bar{T} / \left\{1 + 2\,\xi\,\frac{p}{\omega_N} + \frac{p^2}{\omega_N^2}\right\} \\ \frac{\Delta\omega alt}{Pce} = 2j\,\xi\,\bar{L} / \left\{1 + 2\,\xi\,\frac{p}{\omega_N}\,(1 - \bar{T}\,\frac{j\omega_N}{p}) + \frac{p^2}{\omega_N^2}\right\} \end{cases}$$

On peut noter que ces fonctions possèdent des formes très simples à la fréquence critique F_N, pour laquelle $P_N = j\omega_N$. A savoir :

$$\begin{cases} L(p_N) = \bar{L} \\ T(p_N) = \bar{T} \\ \dfrac{\Delta\omega alt}{pce}(p_N) = \bar{L} / (1 - \bar{T}) \end{cases}$$

On peut également noter la valeur particulière de "l'amortissement réduit", de la fonction $\Delta\omega$ alt/Pce, à savoir la partie réelle (pr) de l'expression $2\xi(1 - \bar{T})$.

On va maintenant analyser la réduction des vibrations torsionnelles.

Si l'effet de la voie vitesse et la valeur de la fonction $\Omega(p)$ tendaient vers zéro, la fonction T(p) tendrait vers zéro et l'amortissement tendrait vers sa valeur naturelle 2ξ. La voie vitesse permet donc de transformer l'amortissement naturel 2ξ en un autre amortissement $2\xi(1 - \bar{T})$.

Le but de l'invention est précisément d'obtenir un amortissement aussi grand que possible en tirant profit de l'influence de la fonction T(p). Le nouveau filtre incorporé à la carte période permet d'atteindre ce but en modifiant T(p).

On se fixe plus précisément un double objectif :

a) Majorer l'amortissement à la fréquence critique F_N.

Pour ce faire, le nouveau filtre doit être conçu pour que la partie réelle de $(-\bar{T})$, à la fréquence F_N, devienne positive et la plus grande possible.

En pratique, il en résulte une spécification de phase et de gain :

- le filtre doit apporter une rotation de phase telle que la phase de $\overline{T}$ soit ramenée à une valeur proche de 180° à la fréquence F_N.

Le filtre doit modifier le gain de sorte que le module de $\overline{T}$ soit le plus important possible à la fréquence F_N. Mais, pour éviter que les niveaux des signaux appliqués aux circuits de régulation de tension et d'excitation sortent du domaine linéaire, la valeur pratique de $\overline{T}$ doit être limitée à 4. Ainsi, l'invention permet de multiplier par 5 l'amortissement naturel 2 ξ à la fréquence F_N.

b) Majorer, ou au moins ne pas minorer, l'amortissement aux autres fréquences comprises entre 5 et 30 Hz.

Pour ce faire, le nouveau filtre doit être simplement conçu pour que la partie réelle de - T(p) devienne comprise entre 0 et une valeur positive importante, quelle que soit la fréquence. En pratique, il n'en résulte aucune spécification particulière en ce qui concerne la phase. Par contre, le gain du filtre doit être limité, et deux cas se présentent :

- aux fréquences pour lesquelles la nouvelle phase de T(p) est comprise dans l'intervalle 180 $\pm$ 90°, il faut que le nouveau module de T(p) soit inférieur à 4, (pour des raisons de linéarité de fonctionnement, similaires à celles mentionnés plus haut);

- aux fréquences pour lesquelles la nouvelle phase de T(p) est comprise dans l'intervalle $\pm$ 90°, il faut que le nouveau module de T(p) soit inférieur à 0,1 pour que le nouvel amortissement (pr 2 ξ (1 - T(p)) ne puisse pas différer de plus de 10% de

l'amortissement naturel 2ξ .

Le but de l'invention est également de ne pas perturber le fonctionnement et les performances d'origine du régulateur de tension aux fréquences comprises entre 0,5 et 2 Hz.

Pour ce faire, il suffit que le nouveau filtre possède un gain voisin de 1, et un déphasage voisin de zéro dans cette bande de fréquence.

Les spécifications du nouveau filtre peuvent être récapitulées de la façon suivante.

Le nouveau filtre de technologie indifférente, est simplement spécifié par un gabarit de déphasage (retard) et un gabarit de gain.

Ces deux gabarits sont l'expression générale des moyens mis en oeuvre par l'invention, afin d'obtenir les résultats énoncés aux alinéas a et b qui précèdent.

Il est destiné à être adjoint au circuit RC 14 décrit en référence à la Fig.2.

Les gabarits de phase φ et gain G du nouveau filtre ne sont pas définis de façon absolue. En effet, ce sont des fonctions des caractéristiques de phase φ_o et gain Go de la fonction T(p) préexistante. Ces dernières caractéristiques Go et φ_o doivent être relevées préalablement, notamment à la fréquence critique F_N, sur le groupe réel ou sur une maquette, comportant le régulateur " 4 boucles " d'origine.

a) <u>Spécification du gabarit de la phase du nouveau filtre</u>.

- pour les fréquences comprises entre 0,5 et 2 Hz :

$$-30^\circ \leq \varphi \leq +30^\circ$$

- pour la fréquence critique F_N comprise entre 5 et 30 Hz :

$$160^\circ \leq (\varphi + \varphi_0) \leq = 200^\circ$$

- pour les autres fréquences comprises entre 5 et 30 Hz :

$(\varphi + \varphi_0)$ indifférent

b) Spécification du gabarit du gain G du nouveau filtre.

- pour les fréquences comprises entre 0,5 et 2 Hz :

$G = 1 \pm 0,15$

- pour la fréquence critique F_N comprise entre 5 et 30 Hz :

$GGo = 4 \pm 1$

- pour les autres fréquences comprises entre 5 et 30 Hz :

1er cas : si $90° < (\varphi + \varphi_0) < 270$: $G\,G_0 \leq 5$

2ème cas : si $-90° < (\varphi + \varphi_0) < 90$: $G\,G_0 \leq 0,1$

Exemple de structure du nouveau filtre, appliquée à l'amélioration du comportement des lignes d'arbres de la centrale de GRAVELINES.

Les lignes d'arbres des groupes turbo-alternateurs de GRAVELINES possèdent une fréquence de torsion particulièrement critique $F_N = 6,1$ Hz.

Une application particulière de l'invention a permis d'améliorer considérablement l'amortissement à cette fréquence.

On va montrer que l'amélioration a été effectivement constatée in situ, et que celle-ci résulte de la conformité, notamment à la fréquence F_N, du filtre utilisé par rapport au gabarit de filtrage indiqué plus haut, conformément à l'invention.

Caractéristiques de la transmittance préexistante T(p)

Comme indiqué précédemment, les gabarits du nouveau filtre sont fonction de la phase φ o et du gain Go de la fonction T(p) préexistante, du groupe et de sa régulation de tension.

Pour la régulation de tension "4 boucles"

des groupes de GRAVELINES, deux cas se présentent :

- carte "10 bits" : Go = 8 et $\varphi o = 60°$ pour $F_N = 6,1$Hz
  Go = 8 pour F = 5 Hz
- carte "12 bits" : Go = 8 et $\varphi o = 110°$ pour $F_N = 6,1$Hz
  Go = 8 pour F = 5 Hz

Structures de filtres applicables à la carte 12 bits

L'exemple de structure de filtre a été conçu en fonction des valeurs Go et φo de la carte " 12 bits" mentionnées ci-dessus.

Les gabarits de phase φ et de gain G qui en résultent pour ce filtre sont indiqués aux Fig.6 et 7.

Plusieurs technologies et structures de filtres peuvent concrétiser ces gabarits :

- Filtres actifs ou passifs analogiques, de caractéristiques passe-bas d'ordre 1 ou 2.
- Filtres actifs analogiques, de caractéristiques sélectives de bande ou multibande.
- Filtres numériques.

Dans ce cas particulier d'application de l'invention, la structure la plus simple a été choisie : Il s'agit d'un filtre passif RC de transmittance passe-bas : $1/(1 + \tau p)$. Les valeurs R et C, respectivement 400 kΩ et 0,1 μF déterminent une constante de temps $\tau = RC = 40$ ms nécessairement très différente de la constante de temps $R_5 C_{11} = 1$ ms choisie dans le régulateur " 4 boucles " antérieur à l'invention.

La constante de temps $\tau = 40$ ms du nouveau filtre découle du respect des gabarits de phase et gain indiqués aux Fig.6 et 7. En effet :

- à 2 Hz (voir le point A, Fig.7), il faut respecter $\varphi \leq 30°$, il en résulte une première condition nécessaire : $\tau \leq 46$ ms.
- à $F_N = 6,1$ Hz (voit le point B, Fig.7), il faut respecter $\varphi \geq 50°$, il en résulte une seconde con-

dition nécessaire = $\tau \geq 31$ ms.

- à 2 Hz (voir le point A, Fig.6), il faut respecter G > 0,85, il en résulte une troisième condition nécessaire : $\tau < 49$ ms.

- à 5 Hz (voir le point C, Fig.6), il faut respecter $G \leq 0,625$, il en résulte une quatrième condition nécessaire : $\tau > 39$ ms.

- à $F_N = 6,1$ Hz (voir le point B, Fig.6), il faut respecter $G \geq 0,375$, il en résulte une cinquième condition nécessaire $\tau < 64$ ms.

En conclusion, l'application particulière de l'invention utilise un filtre passe-bas de transmittance $1/(1 + 0,04\ p)$. A la fréquence $F_N = 6,1$ Hz, les caractéristiques de ce filtre sont les suivantes :

$\varphi = 57°$ et $G = 0,55$

On va maintenant comparer l'amortissement F_N obtenu avec et sans l'agencement de l'invention.

a) La situation d'origine correspond à un régulateur " 4 boucles " dont la " carte période ", de type " 10 bits " est dépourvue du nouveau filtre. Dans ces conditions, le déphasage et le gain de la fonction T ont pour caractéristiques à la fréquence $F_N = 6,1$ Hz :

phase : $\varphi + \varphi_o = 0 + 60° = 60°$

gain : $G\ G_o = 1 \times 8 = 8$

L'amortissement théorique obtenu est :

pr $2\xi\ (1-T) = -6\xi$.

Cette valeur négative révèle un amortissement électrique destabilisant. Celui-ci, cumulé aux amortissements positifs de diverses origines (pertes mécaniques et pertes en réseau), conduit à la décroissance lente des vibrations de torsion, constatée in situ (voir Fig.8).

b) La nouvelle situation correspond à un

régulateur " 4 boucles " dont la " carte période ", de type " 12 bits " est pourvue cette fois-ci d'un nouveau filtre, conforme à l'invention, et décrit plus haut en référence aux Fig.2 à 5.

Ce filtre, obtenu par modification mineure des équipements de régulation préexistants, est conforme aux spécifications de l'invention notamment à la fréquence critique F_N. En effet, les phases et modules de la nouvelle fonction T(p) sont les suivants à la fréquence F_N :

- phase $\varphi + \varphi_o = 57° + 110° = 167°$
- gain $G\ G_o = 0,55 \times 8 = 4,4$

Le nouvel amortissement obtenu est :

$pr\ 2\xi (1 - T) = + 10,8\xi$

Cette valeur positive révèle un amortissement électrique positif et désormais stabilisant. Celui-ci cumulé aux amortissements également positifs d'autres origines (pertes réseau, pertes mécaniques), se traduit par la décroissance rapide des vibrations de torsion, constatée in situ, dans des conditions par ailleurs identiques à celles du paragraphe a) (voir Fig.9).

Le nouveau dispositif est une modification inédite de la voie de vitesse du régulateur de tension dit " 4 boucles " préexistant à l'invention.

Il découle de deux dispositions fondamentales dont la seconde est sans précédent :

- action directe sur le couple électrique vibratoire des alternateurs,
- intégration au régulateur de tension " 4 boucles " d'origine.

De la première disposition ci-dessus résultent deux avantages :

a) efficacité : prouvée en vraie grandeur et

en laboratoire, traduite en terme d'augmentation importante de l'amortissement des vibrations torsionnelles des lignes d'arbres;

b) champ d'application universel : à toute situation critique de vibrations torsionnelles imputables à une cause quelconque : station de conversion de courant alternatif, association de condensateurs dits " série " à des lignes de réseau électrique.

De la seconde disposition résultent deux autres avantages.

c) modicité exceptionnelle de prix puisqu'il s'agit seulement d'un nouvel élément simple (le nouveau filtre) implanté dans une carte électronique d'origine de la régulation " 4 boucles ";

d) compatibilité, ipso facto, avec la régulation de tension habituelle des groupes et avec ses performances de stabilité statique et dynamique habituelles.

On peut supposer, à priori, que les dispositifs concurrents possèdent également l'avantage "a" mentionné ci-dessus.

Par contre, aucun ne possède à priori l'avantage "d", et aucun ne possède réunis les avantages "a b c et d ".

En effet, les dispositifs concurrents sont généralement de trois types :

- Des régulateurs "indépendant" adjoints à la régulation des groupes et utilisant un signal de vitesse. Ce sont des dispositifs complets donc relativement coûteux, et qui peuvent par principe poser des problèmes de coordination avec la régulation de tension principale des groupes.

- Des régulateurs "complémentaires" adjoints à la régulation des stations de conversion de courant

alternatif. Ce sont également des dispositifs complets donc relativement coûteux, et dont le champ d'application est évidemment limité aux seuls cas d'instabilité torsionnelle inhérents à des stations de conversion.

- Des stabilisateurs de tension ou de puis-sance réactive de conceptions variées, faisant appel à la technique des thyristors. Ce sont des équipements de puissance très coûteux dont le principe est de moduler l'intensité absorbée par des condensateurs ou des inductances grâce à des thyristors commandés.

A ce jour, l'efficacité de ces dispositifs a été prouvée seulement dans des cas de vibrations torsionnelles critiques imputables à des résonances de réseau.

Le nouveau dispositif qui vient d'être décrit est capable de réduire et de stabiliser les vibrations torsionnelles des lignes d'arbres de groupes, sans altérer le fonctionnement de la régulation de tension d'origine " 4 boucles" et notamment ses propriétés stabilisatrices des oscillations statiques rotoriques.

Le dispositif est un nouveau filtre spécifié par un gabarit de déphasage et de gain, destiné à être incorporé, à frais minimes, à la " carte période " ou " voie vitesse " du régulateur " 4 boucles " d'origine.

Le dispositif suivant l'invention présente réunis ensemble les avantages suivants :

- efficacité : éprouvée par une application en vraie grandeur aux alternateurs de la centrale de GRAVELINES;

- champ d'application général : quelle que soit la cause extérieure d'instabilité torsionnelle d'une ligne d'arbre;

- modicité exceptionnelle de prix, puisqu'il s'agit de l'adjonction de simples composants à une carte électronique préexistante;

- comptabilité ipso facto avec les performances et le fonctionnement de la régulation " 4 boucles " d'origine, à laquelle le nouveau système est parfaitement intégré.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de réduction et de stabilisation des vibrations torsionnelles des lignes d'arbres de groupes turbo-alternateurs, caractérisé en ce qu'il comprend un régulateur de tension à quatre boucles tel que la transmittance en boucle ouverte initiale Δ Ce/PCe présente des caractéristiques de déphasage et de gain φ o et Go, qui comporte une boucle (1) de mesure de la tension statorique, une boucle (2) de mesure de la vitesse de rotation du turbo-alternateur, une boucle (3) de mesure de la puissance électrique consommée et une boucle (4) de mesure de la pression à l'entrée du premier étage de la turbine du turbo-alternateur, lesdites boucles aboutissant toutes un sommateur (5) des signaux qu'il reçoit des quatre boucles, correspondant à des grandeurs stabilisatrices, la boucle de mesure initiale de vitesse comprenant des moyens (10,12) de mesure d'une période déterminée de rotation de l'alternateur, des moyens (14) de filtrage de la tension issue des moyens de mesure, des moyens (20) d'amplification et de filtrage passe-haut destinés à ne conserver que les signaux correspondant aux variations rapides de vitesse et des moyens de filtrage (22) destinés à éliminer le bruit de faible amplitude.

2. Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens (14) de filtrage de la tension issue des moyens de mesure de la période de rotation sont complétés par un nouveau filtre de déphasage φ et de gain G, fonctions desdits déphasage φ o et gain Go, en ce que le nouveau filtre présente pour les fréquences comprises entre 0,5 et 2 Hz, des caractéristiques de déphasage comprises dans la plage $-30° \leq \varphi \leq +30°$ et des caractéristiques de gain G =

1 ± 0,15 et pour la fréquence critique F_N comprise entre 5 et 30 Hz, des caractéristiques de déphasage comprises dans la plage $160° \leq (\varphi + \varphi_o) \leq 200°$ et des caractéristiques de gain GGo = 4 ± 1, et en ce que le nouveau filtre présente pour les autres fréquences comprises entre 5 et 30 Hz, une caractéristique de phase $\varphi + \varphi_o$ indifférente et une caractéristique de gain satisfaisant aux relations suivantes :

GGo ≤ 5 pour $90° < (\varphi + \varphi_o) < 270°$

GGo ≤ 0,1 pour $-90° < (\varphi + \varphi_o) < 90°$

3. Dispositif suivant les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit nouveau filtre (14) est un filtre actif ou passif analogique, de caractéristique passe-bas d'ordre 1 ou 2.

4. Dispositif suivant les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le nouveau filtre (14) est un filtre actif analogique de caractéristiques sélectives de bande ou multi-bande.

5. Dispositif suivant les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le nouveau filtre (14) est un filtre numérique.

6. Dispositif suivant les revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit nouveau filtre (14) est un filtre RC passe-bas de transmittance $1/(1 + \tau p)$ τ p étant la constante de temps du circuit RC.

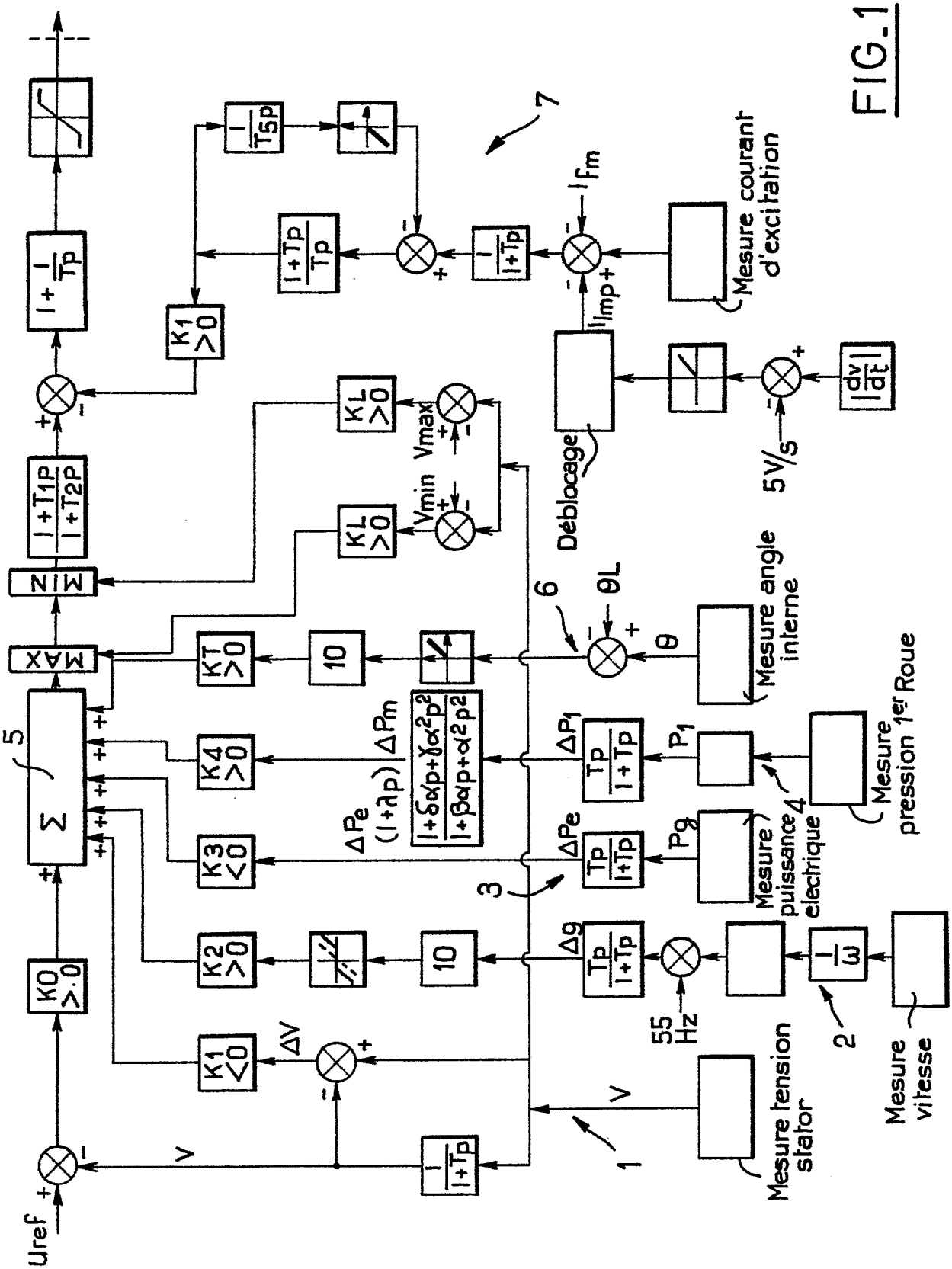

Uref
V
K0 >.0
K1 <0
ΔV
K2 >0
10
K3 <0
K4 >0
ΔPe (1+λp) ΔPm
1+δαp+γα²p² / 1+βαp+α²p²
KT >0
10
MAX
MIN
1+T1P / 1+T2P
1+1/Tp
K1 >0
1/T5p
1+Tp/Tp
1/(1+Tp)
KL >0
Vmin
Vmax
KL >0
Ifm
Mesure courant d'excitation
Déblocage
5V/s
|dv/dt|
θL
θ
Mesure angle interne
ΔP1
Tp/(1+Tp)
P1
Mesure pression 1er Roue
ΔPe
Pg
Mesure puissance electrique
Δg
55 Hz
1/ω
Mesure vitesse
Mesure tension stator
1
2
3
4
5
6
7

FIG_1

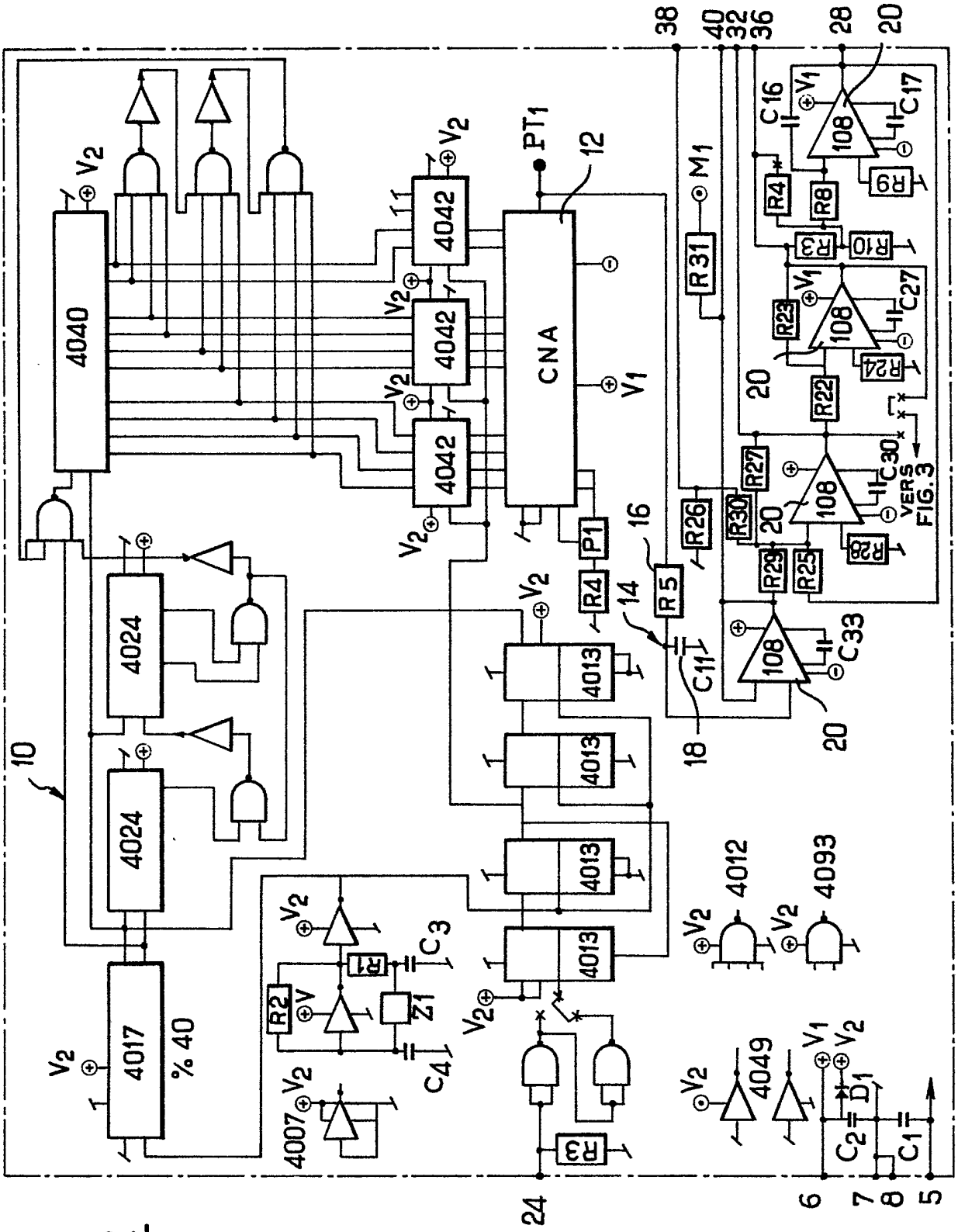

4040
4042
4042
4042
CNA
PT1
12
V2
V1
4024
4024
4017
% 40
10
4013
4013
4013
4013
4012
4093
4049
4007
R1
R2
R3
R4
R5
R26
R27
R28
R29
R30
R31
R22
R23
R24
R25
R3
R4
R8
R9
R10
C1
C2
C3
C4
C11
C16
C17
C27
C30
C33
D1
Z1
P1
M1
108
VERS FIG.3
38
40
32
36
28
20
24
6
7
8
5
14
16
18

FIG_2

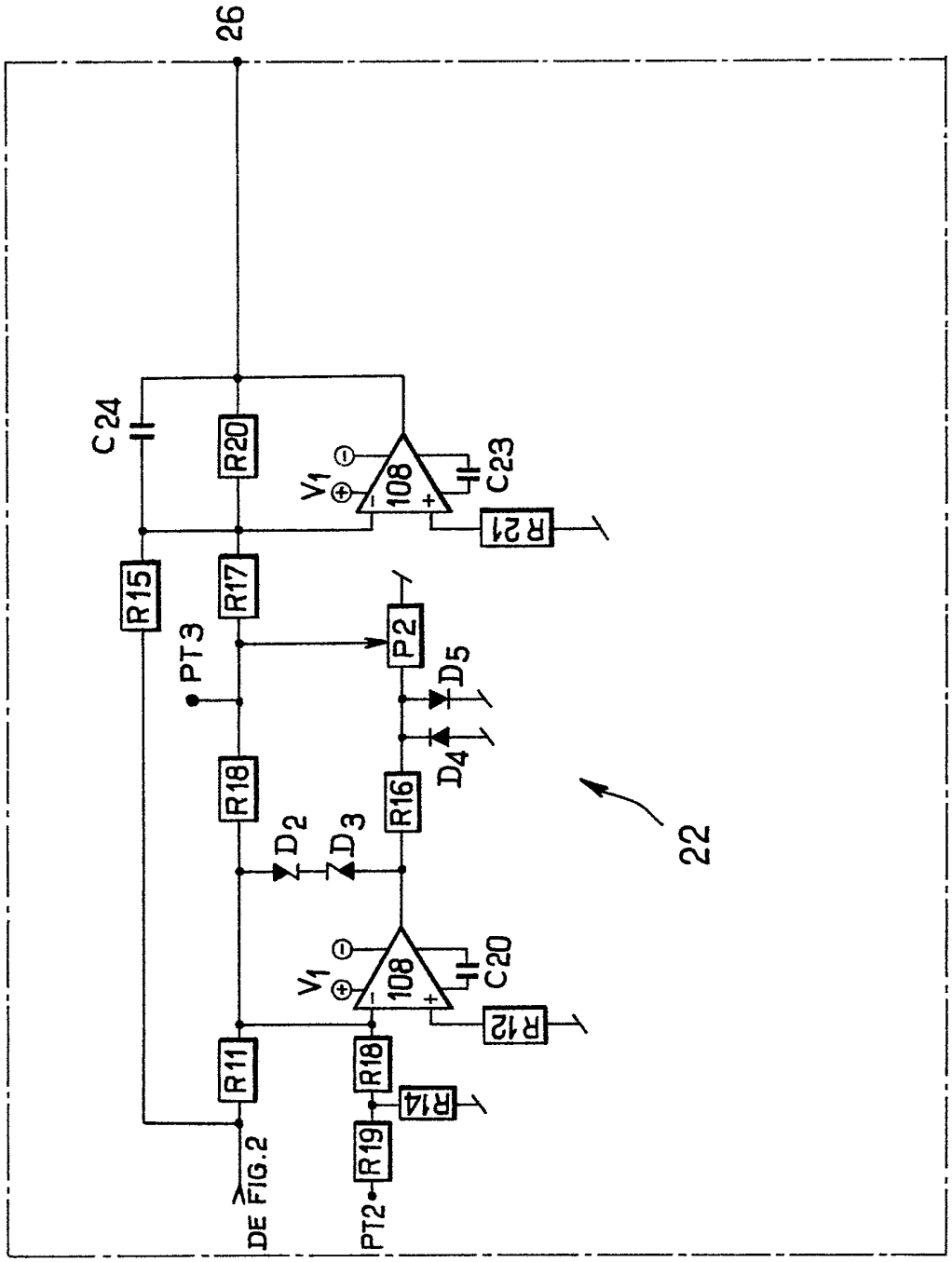

26
C24
R20
V1
108
C23
R21
R15
R17
PT3
P2
D5
D4
R18
R16
D2
D3
22
V1
108
C20
R12
R11
R18
R14
R19
DE FIG.2
PT2

FIG_3

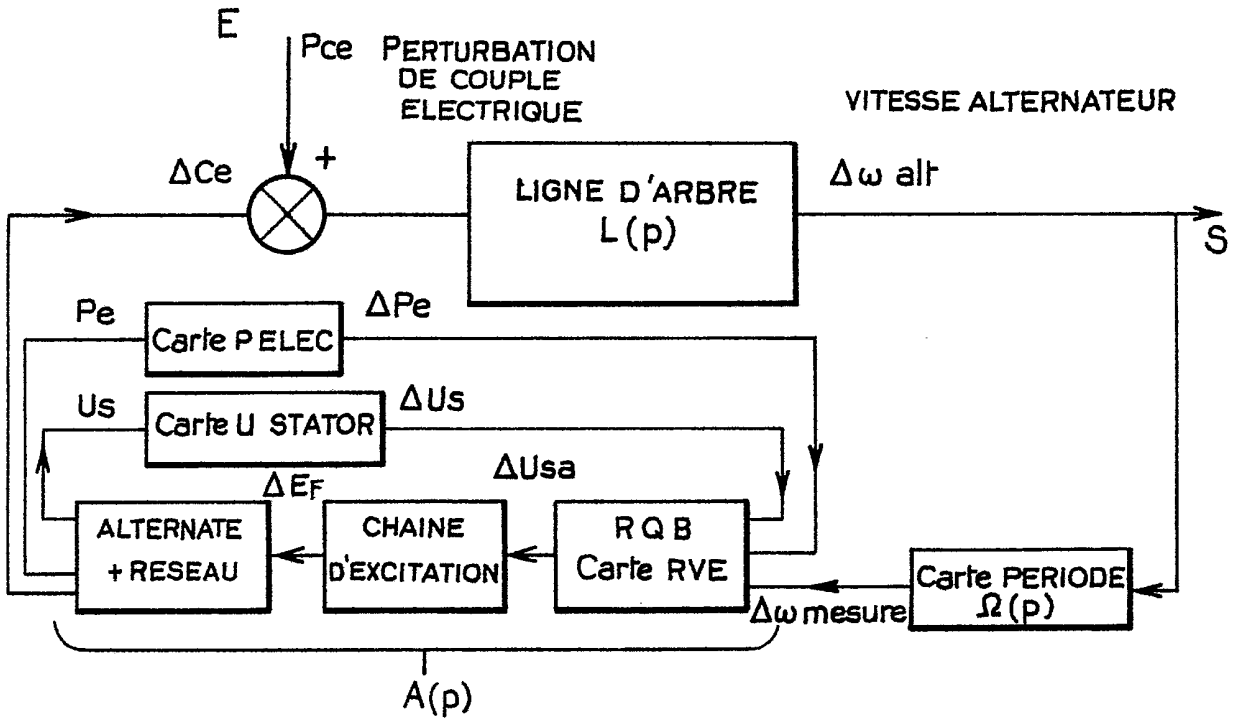

E
Pce
PERTURBATION DE COUPLE ELECTRIQUE
VITESSE ALTERNATEUR
ΔCe
+
LIGNE D'ARBRE L(p)
Δω alt
S
Pe
Carte P ELEC
ΔPe
Us
Carte U STATOR
ΔUs
ΔUsa
ΔEF
ALTERNATE + RESEAU
CHAINE D'EXCITATION
R Q B Carte RVE
Carte PERIODE Ω(p)
Δω mesure
A(p)

FIG_4

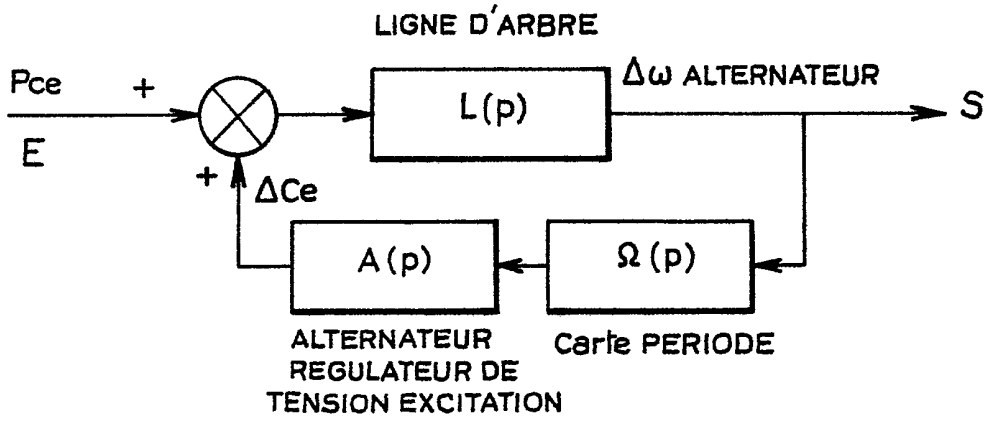

LIGNE D'ARBRE
Pce
+
E
L(p)
Δω ALTERNATEUR
S
+
ΔCe
A(p)
Ω(p)
ALTERNATEUR REGULATEUR DE TENSION EXCITATION
Carte PERIODE

FIG_5

FIG.6

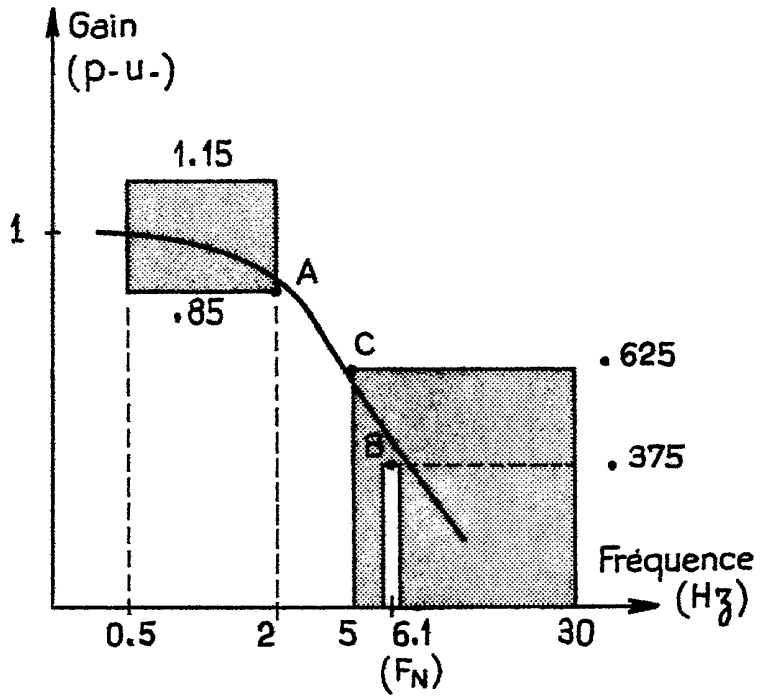
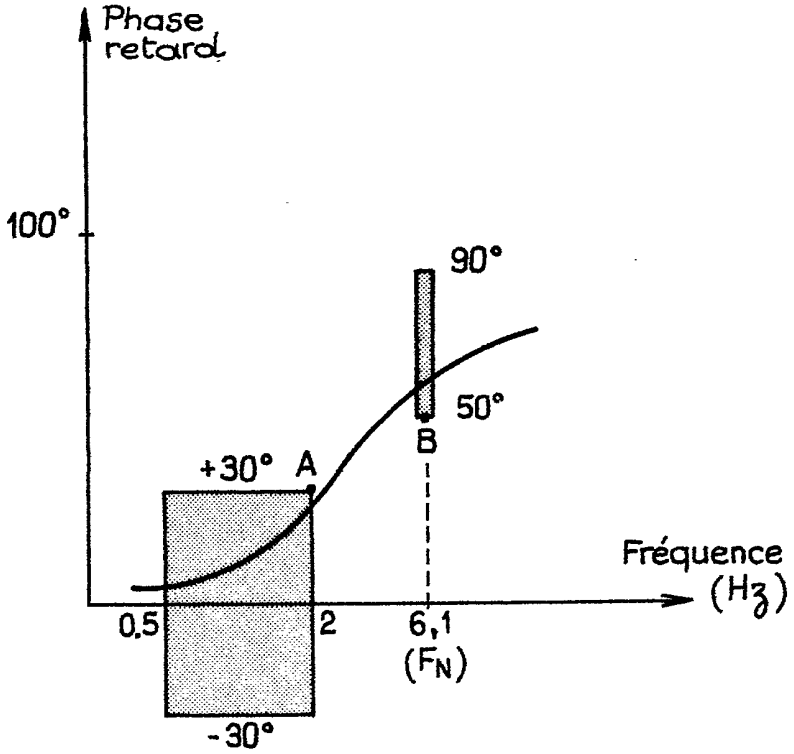

Gain
(p-u-)
1.15
1
A
.85
C
.625
B
.375
Fréquence
(Hz)
0.5
2
5
6.1
(FN)
30

FIG.7


Phase
retard
100°
90°
50°
B
+30°
A
Fréquence
(Hz)
0.5
2
6,1
(FN)
-30°

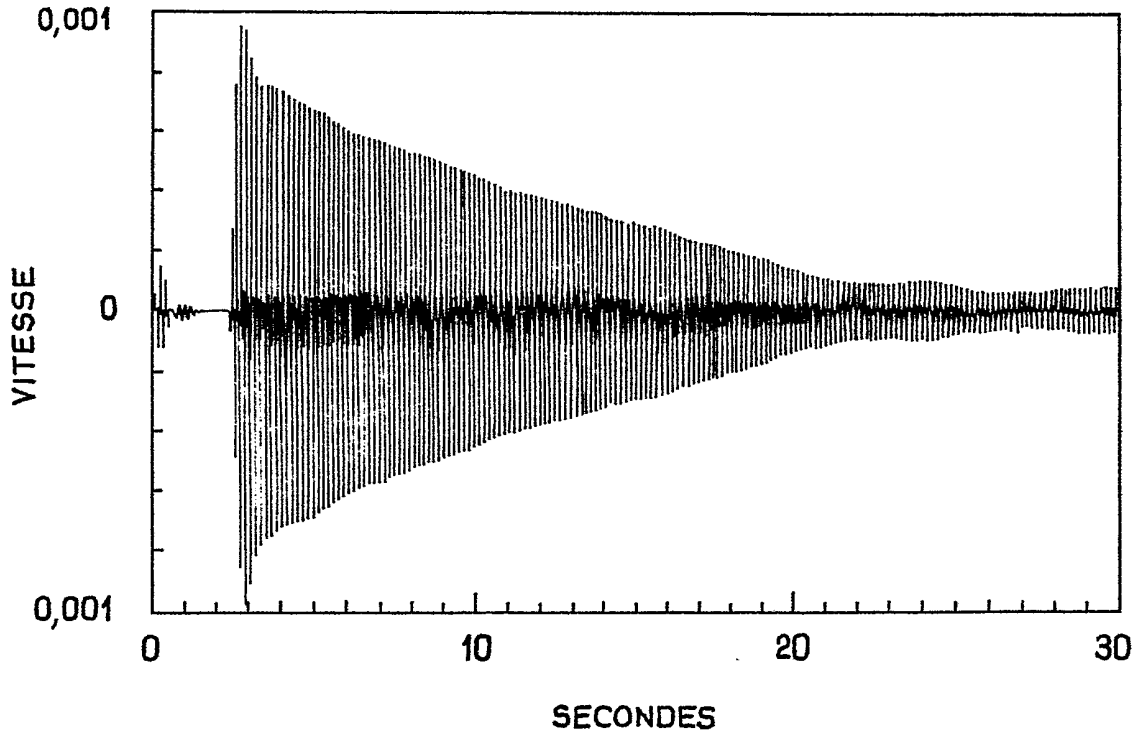

0,001
VITESSE
0
0,001
0
10
20
30
SECONDES

FIG_8

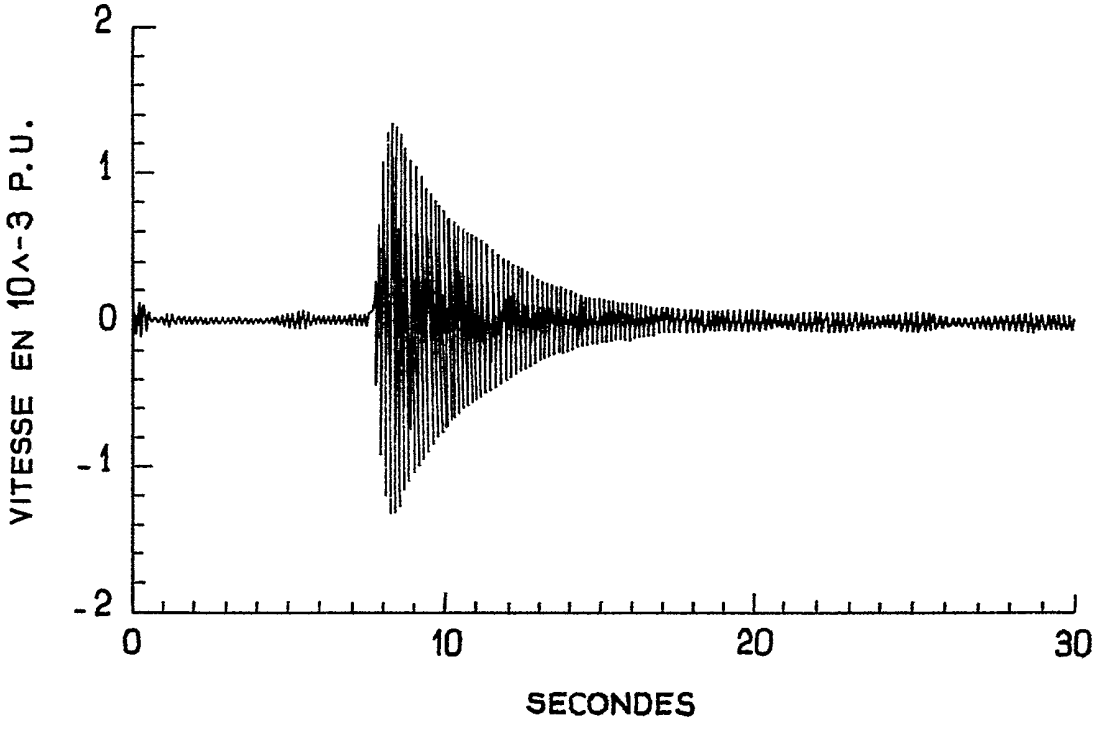

2
1
VITESSE EN 10^-3 P.U.
0
-1
-2
0
10
20
30
SECONDES

FIG_9

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

2654231

N° d'enregistrement national

FR 8914459
FA 436271

RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
D,Y	FR-A-2 475 313 (ELECTRICITE DE FRANCE) * page 9, ligne 19 - page 10, ligne 23; page 13, ligne 7 - page 14, ligne 9; page 14, lignes 24-35; page 23, lines 3-24; page 27, ligne 33 - page 28, ligne 34 *	1
Y	US-A-4 080 559 (WRIGHT et al.) * colonne 1, lignes 6-26; colonne 2, lignes 6-34; colonne 4, ligne 26 - colonne 6, ligne 7; revendications 1-6; figures 1-5 *	1
A		4
A	DE-A-3 742 555 (GENERAL ELECTRIC) * abrégé; page 3, ligne 59 - page 7, ligne 14; revendications 1-14; figures 1-4 *	2,5
A	US-A-4 329 637 (KOTAKE et al.) * abrégé; colonne 2, lignes 41-65; colonne 3, ligne 55 - colonne 6, ligne 41; colonne 9, lignes 8-22; figures 1-3 *	1,4

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)

H 02 P 9/00
H 02 J 3/00

Date d'achèvement de la recherche: 02-08-1990

Examinateur: BEITNER M.J.J.B.

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)