

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt: 87401892.2

⑤ Int. Cl. 4: **F 02 N 11/04**

⑳ Date de dépôt: 17.08.87

③① Priorité: 11.09.86 FR 8612697

④③ Date de publication de la demande:  
16.03.88 Bulletin 88/11

④④ Etats contractants désignés: DE ES GB IT

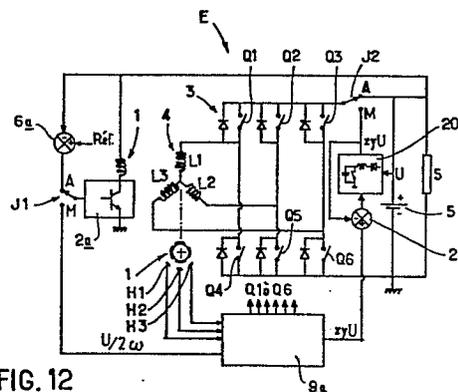
⑦① Demandeur: VALEO  
64, avenue de la Grande Armée  
F-75848 Paris Cédex 17 (FR)

⑦② Inventeur: N'Guyen, Huu Can  
6, rue de la Chapelle  
F-92500 Rueil Malmaison (FR)

⑦④ Mandataire: Michardière, Bernard et al  
C/O CABINET PEUSCET 68, rue d'Hauteville  
F-75010 Paris (FR)

⑤④ Procédé de commande d'une machine électrique réversible générateur-moteur, pour véhicule automobile, et installation de commande pour la mise en oeuvre d'un tel procédé.

⑤⑦ Le procédé de commande concerne une machine électrique réversible pouvant fonctionner soit en générateur (alternateur) soit en moteur, destinée à un véhicule automobile, cette machine comprenant un induit (4) et un inducteur (1) bobinés, l'inducteur (1) étant commandé, lors du fonctionnement en alternateur par un régulateur (2a). Lors du fonctionnement en moteur, on contrôle la tension d'alimentation de l'induit (4) et/ou l'excitation (1) afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées en couple-vitesse.



**FIG. 12**

## Description

PROCEDE DE COMMANDE D'UNE MACHINE ELECTRIQUE REVERSIBLE GENERATEUR-MOTEUR, POUR VEHICULE AUTOMOBILE, ET INSTALLATION DE COMMANDE POUR LA MISE EN OEUVRE D'UN TEL PROCEDE.

5 L'invention est relative à un procédé de commande d'une machine électrique réversible, c'est-à-dire d'une machine pouvant fonctionner soit en générateur (alternateur) soit en moteur, destinée à un véhicule automobile, cette machine comprenant un induit et un inducteur bobinés, l'inducteur étant commandé, lors du fonctionnement en alternateur, par un régulateur propre à réguler la tension délivrée par l'induit au réseau électrique du véhicule.

10 Le fonctionnement en moteur d'une telle machine électrique correspond soit à l'utilisation en démarreur de cette machine, soit en l'utilisation comme moteur de relance d'un volant d'inertie dans le cas où le véhicule est équipé d'un système de récupération de l'énergie à l'aide d'un tel volant.

On sait qu'actuellement sur la plupart des véhicules automobiles, tourisme ou poids lourd, le générateur électrique, en particulier l'alternateur, et le démarreur sont constitués par deux machines électriques distinctes. Dans un souci d'économie et d'efficacité, on cherche à réaliser une seule machine électrique pouvant servir tantôt en générateur (alternateur), tantôt en moteur (démarreur ou moteur de relance d'un volant d'inertie) et qui assure des performances suffisantes pour les deux types de fonctionnement.

L'exigence relative aux performances suffisantes est difficile à satisfaire car les conditions électriques de service ne sont pas les mêmes selon que la machine fonctionne en générateur ou en moteur.

20 L'invention a pour but, surtout, de fournir une machine électrique réversible, telle que définie précédemment, qui réponde mieux que jusqu'à présent aux diverses exigences de la pratique et qui, notamment, permet d'obtenir des performances et un rendement satisfaisants aussi bien lors du fonctionnement en générateur que lors du fonctionnement en moteur.

30 Selon l'invention, le procédé de commande d'une machine électrique réversible pouvant fonctionner soit en générateur (alternateur), soit en moteur, destinée à un véhicule automobile, cette machine comprenant un induit et un inducteur bobinés, l'inducteur étant commandé lors du fonctionnement en alternateur par un régulateur propre à réguler la tension délivrée par l'induit au réseau électrique du véhicule, est caractérisé par le fait que, pour le fonctionnement en moteur, on contrôle la tension d'alimentation de l'induit et/ou l'excitation afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées en couple-vitesse.

Dans le cas du fonctionnement en moteur-démarreur, on établit, avantageusement, à partir de la tension de batterie, une tension régulée supérieure à celle de la batterie, cette tension régulée étant utilisée au moins pour l'alimentation de l'induit. L'inducteur peut également être alimenté par cette tension régulée.

35 Lorsque le fonctionnement en moteur englobe la relance d'un volant d'inertie, avantageusement, lors de ce fonctionnement en moteur, on pilote l'excitation de l'inducteur de manière à provoquer une augmentation de la vitesse de rotation pour laquelle le couple du moteur s'annule.

De préférence, ce pilotage de l'excitation est effectué de manière à obtenir un couple maximal pour chaque vitesse de rotation.

40 Généralement, on pilote l'excitation à partir d'une vitesse déterminée  $\omega_1$  choisie de manière telle que  $\omega_1 = U/2K_1$  où  $U$  est la tension d'alimentation de l'induit et  $K_1$  le coefficient reliant la force contre-électromotrice à la vitesse de rotation.

Avantageusement, lors du fonctionnement en moteur, on pilote l'induit de manière à limiter l'intensité du courant circulant dans cet induit à une valeur prédéterminée pour des vitesses de rotation allant de la vitesse nulle à une valeur limite.

45 De préférence, l'intensité du courant d'induit est maintenue à une valeur constante sur toute la plage de vitesses.

Un tel procédé de commande convient particulièrement pour une machine électrique dont l'induit comporte plusieurs phases, et dont le fonctionnement en moteur est assuré par une commutation électronique.

50 L'invention est également relative à une installation pour la mise en oeuvre d'un procédé tel que défini précédemment, cette installation étant caractérisée par le fait qu'elle comprend des moyens de branchement en position générateur et en position moteur, ainsi que des moyens de contrôle de la tension d'alimentation de l'induit et/ou du régulateur agencés pour l'obtention des caractéristiques souhaitées.

Avantageusement, l'installation pour la mise en oeuvre du procédé comprend des moyens de branchement en position générateur et en position moteur, des moyens de contrôle et des capteurs de courant ainsi qu'un module électronique de commande qui contrôle les courants d'induit et d'inducteur pour obtenir les caractéristiques souhaitées.

55 L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en un certain nombre d'autres dispositions dont il sera plus explicitement question ci-après à propos de modes de réalisation particuliers décrits avec référence aux dessins ci-annexés, mais qui ne sont nullement limitatifs.

60 La figure 1 de ces dessins, est une courbe caractéristique courant-vitesse d'un alternateur, l'intensité du courant étant portée en ordonnée, et la vitesse de rotation de l'alternateur exprimée en tours/minute, étant portée en abscisse.

La figure 2 est une caractéristique couple-vitesse de la machine électrique fonctionnant en moteur sous excitation nominale et avec alimentation des phases du stator (ou induit) par commutation

électronique sous tension nominale, le couple étant porté en ordonnée, et la vitesse de rotation en abscisse.

La figure 3 est un schéma électrique d'une commande classique d'une machine fonctionnant en alternateur.

La figure 4 est un schéma d'une commande classique de la machine électrique fonctionnant en moteur, avec commutation électronique. 5

La figure 5 est un tracé de caractéristiques d'une machine électrique fonctionnant en moteur, dans diverses conditions, dont certaines conformes au procédé de l'invention.

La figure 6 est un tracé de caractéristiques d'une machine électrique fonctionnant en moteur et dont l'excitation est pilotée conformément à l'invention de manière à repousser vers des vitesses plus élevées la vitesse correspondant au couple nul. 10

La figure 7 est un tracé de caractéristiques se déduisant de celui de la figure 6 pour une tension d'induit régulée supérieure.

La figure 8 est un tracé de caractéristiques se déduisant de celui des figures 6 et 7 lorsque l'induit et l'inducteur sont tous deux alimentés par la tension régulée supérieure à celle de la batterie. 15

La figure 9 est un tracé de caractéristiques d'une machine électrique fonctionnant en moteur conformément au procédé de l'invention, avec pilotage de la tension d'induit de manière à maintenir le courant d'induit à une valeur constante.

La figure 10 se déduit de la figure 9 pour une tension d'induit correspondant à la tension régulée supérieure à celle de la batterie. 20

La figure 11 se déduit des figures 9 et 10 alors que la tension d'induit et la tension d'inducteur correspondent à la tension régulée supérieure à celle de la batterie.

La figure 12 est un schéma électrique, simplifié, d'une installation de commande d'une machine électrique conforme à l'invention.

La figure 13 est un schéma électrique d'une variante de l'installation de commande. 25

La figure 14, enfin, est un schéma électrique d'une autre variante de réalisation de l'installation de commande.

Avant d'entamer la description proprement dite, il convient de préciser qu'une machine électrique réversible générateur-moteur, pour véhicule automobile, du genre de l'invention, peut être implantée de deux manières : ou bien intégrée au volant moteur et donc tournant à la même vitesse que le vilebrequin du moteur thermique ; ou bien entraînée par le vilebrequin par l'intermédiaire de poulies et courroies et tournant à une vitesse supérieure à, et généralement égale à environ deux fois, celle du vilebrequin. 30

Pour simplifier la rédaction, on ne considérera que la première implantation où les vitesses de rotation du moteur thermique et de la machine électrique sont identiques. Le cas de la deuxième implantation peut se déduire du précédent par un simple coefficient multiplicateur entre la vitesse du moteur thermique et celle de la machine électrique. 35

La figure 1 des dessins illustre un exemple de caractéristiques de l'intensité (portée en ordonnée) du courant débité par un alternateur, intégré au volant du moteur thermique ou entraîné par ce moteur avec rapport de transmission unitaire, à excitation nominale, en fonction de la vitesse de rotation portée en abscisse et exprimée en nombre de tours/minute. La vitesse d'amorçage  $N_a$  de l'alternateur est voisine de 600 tours/minute. 40

La figure 2 montre la caractéristique couple (en ordonnée) et vitesse (en abscisse) de la même machine électrique que dans le cas de la figure 1, mais fonctionnant cette fois en moteur sous excitation nominale et avec alimentation des phases du stator par commutation électronique sous tension nominale, comme cela sera expliqué un peu plus en détail à propos des schémas des figures 3 et 4. 45

Le schéma de la figure 3 correspond au fonctionnement de la machine électrique en alternateur, avec une commande classique. La machine comprend un enroulement inducteur bobiné 1, ou enroulement d'excitation, commandé par un régulateur 2 qui contrôle le courant d'excitation, traversant l'inducteur 1, de telle sorte qu'une tension souhaitée soit délivrée en sortie du pont 3 de diodes de redressement branché sur l'induit 4 comportant trois phases L1, L2, L3 branchées en étoile. 50

Le pont de diodes 3 comporte, d'une manière classique, six diodes. Deux diodes sont associées à chaque phase de l'induit 4 qui forme le stator de l'alternateur. L'anode des diodes D1, D2, D3 est reliée à l'extrémité de sortie de chaque enroulement de phase L1, L2, L3, tandis que la cathode de ces diodes est reliée à la borne + d'une batterie 5 ainsi qu'à une borne du réseau électrique S d'éléments consommateurs de courant du véhicule. 55

Les cathodes des diodes D4, D5, D6 sont reliées à l'extrémité de sortie des phases L1, L2, L3 tandis que les anodes sont reliées à la masse, à laquelle est également relié le pôle - de la batterie 5 et l'autre borne du réseau S.

Le régulateur 2 comprend, schématiquement, un circuit comparateur 6 qui reçoit, sur une entrée, la tension à la sortie du pont de diodes 3 et, sur une autre entrée, une tension de référence. Le signal de sortie du comparateur 6 est envoyé sur un amplificateur 7 qui contrôle l'intensité du courant circulant dans l'inducteur 1. Il n'apparaît pas nécessaire de détailler davantage ces circuits classiques. 60

La figure 4 représente schématiquement la commande de la commutation électronique de la machine électrique pour son fonctionnement en moteur. Les éléments identiques ou jouant des rôles similaires à des éléments déjà décrits à propos de la figure 3 sont désignés par les mêmes références sans que leur 65

description soit reprise.

Le régulateur 2 n'a pas été représenté sur la figure 4 et l'inducteur constitué par l'enroulement d'excitation 1 est alimenté sous la tension constante U de la batterie.

Des moyens de commutation électronique 8 sont branchés en parallèle au pont de diodes 3 pour assurer une alimentation séquentielle des phases L1, L2, L3 de l'induit 4 ou stator.

Les moyens de commutation électronique 8 comprennent des interrupteurs statiques Q1...Q6 pouvant être constitués par des transistors ou des thyristors, branchés en parallèle sur les diodes D1...D6. Les interrupteurs Q1...Q6 sont commandés à partir d'un ensemble électronique 9 qui reçoit des informations sur la position angulaire du rotor, ou inducteur 1, par des capteurs de position angulaire du rotor H1, H2, H3, espacés sur une circonférence entourant le rotor. Ces capteurs H1, H2, H3 peuvent être constitués par des capteurs à Effet Hall, ou des capteurs optoélectroniques.

Un exemple de séquence d'alimentation des phases L1, L2, L3 permettant de créer un champ électromagnétique tournant est le suivant :

15

20

25

30

ANGLE ELECTRIQUE EN DEGRES		0	60	120	180	240	300	0
ETATS CAPTEURS	H1	0	0	0	1	1	1	0
	H2	0	0	1	1	1	0	0
	H3	0	1	1	1	0	0	0
ALIMENTATION	L1	+	+	0	-	-	0	+
	L2	-	0	+	+	0	-	-
	L3	0	-	-	0	+	+	0

35

Les caractéristiques de fonctionnement de la machine électrique en moteur dépendent des caractéristiques du fonctionnement en alternateur.

40

Ainsi, si l'on se reporte à nouveau à la figure 2, on peut voir que la vitesse de rotation maximale du moteur qui est de 6000 tours/minute correspond à la vitesse d'amorçage du fonctionnement en alternateur, illustré par la figure 1, puisqu'à cette vitesse la force contre-électromotrice (dans le fonctionnement en moteur) atteint déjà la tension nominale et s'oppose complètement au passage du courant d'alimentation du stator (ou induit).

45

Si le courant nominal, lors du fonctionnement en alternateur, est suffisamment important, la machine électrique pourra fournir, lors de son fonctionnement en moteur, un couple de démarrage Cd à une vitesse par exemple de 2000 tours/minute, suffisant dans le cas où le moteur est utilisé comme démarreur. Par contre, il est possible que la machine électrique tout en présentant des caractéristiques satisfaisantes pour le fonctionnement en alternateur, ne fournisse pas, lors du fonctionnement en moteur selon le schéma de la figure 4, un couple Cd suffisant.

50

De plus, si la machine électrique est destinée à être utilisée, lors de son fonctionnement en moteur, pour assurer la relance d'un volant d'inertie, il lui faudra atteindre une vitesse de rotation relativement élevée, par exemple 4000 tours/minute, qui est supérieure à la vitesse limite de 600 tours/minute correspondant au couple nul, du schéma de la figure 2 qui correspond lui-même au fonctionnement en moteur selon le branchement de la figure 4.

55

L'invention vise, notamment, à apporter une solution à ces problèmes, c'est-à-dire à permettre d'obtenir d'une machine électrique, suffisamment dimensionnée pour fonctionner en générateur (alternateur) à bord d'un véhicule automobile, des caractéristiques satisfaisantes lors du fonctionnement en moteur électrique, c'est-à-dire en démarreur et /ou en moteur de relance d'un volant d'inertie.

Pour cela, conformément à l'invention, lors du fonctionnement en moteur de la machine électrique, on contrôle la tension d'alimentation de l'induit 4 et/ou l'excitation (inducteur 1) afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées en couple-vitesse.

60

Avant d'évoquer plus en détail le procédé de commande de l'invention et les moyens utilisés pour la mise en oeuvre de ce procédé, on va considérer les équations de fonctionnement de la machine électrique en moteur.

Le fcem (force contre-électromotrice) en volts de la machine travaillant en moteur a pour expression :

65

$$e = \frac{N\Phi}{2\pi} \cdot \frac{2p}{2a} \omega = k\omega \quad (1)$$

où

$\omega$  = vitesse de rotation en rd/s

N = nombre de conducteurs de l'induit

2a = nombre de voies d'enroulement du bobinage induit

2p = nombre de pôles de l'inducteur

$\Phi$  = flux utile par pôle en Webers

Le couple électromagnétique C, en mN, pour un courant I en ampères dans l'induit alimenté sous la tension nominale U, en volts, vaut :

$$C = \frac{N\Phi}{2\pi} \cdot \frac{2p}{2a} \cdot I = kI \quad (2)$$

et 
$$I = \frac{U - e}{R} \quad (3)$$

(R est la résistance d'induit)

soit 
$$C = kI = \frac{k}{R} (U - k\omega) \quad (4)$$

En fonctionnement sous la tension nominale U avec un courant d'excitation nominal i constant (donc à  $k = K1$  constant), la caractéristique de couple électromagnétique C en fonction de la vitesse  $\omega$  est la droite de la figure 2. La vitesse limite est U/K1.

Les équations (1) à (4) montrent que le couple C et la vitesse  $\omega$  dépendent des courants inducteur, c'est-à-dire du courant circulant dans l'enroulement d'excitation 1, et induit, c'est-à-dire du courant circulant dans les enroulements du stator 4.

Le procédé de commande selon l'invention permet de modifier ces couple et vitesse en agissant sur les courants par un contrôle de la tension d'alimentation de l'induit et/ou de l'excitation.

Le contrôle des courants peut être effectué soit à partir de la tension nominale U (tension de la batterie 5) soit à partir d'une tension régulée yU supérieure à celle de la batterie, et établie à partir de la tension U par des moyens élévateurs de tension.

Lorsque l'on dispose ainsi de la tension nominale U et d'une tension régulée yU plus élevée, trois cas principaux de fonctionnement suivants peuvent être envisagés.

Cas n° 1 : l'inducteur 1 et l'induit 4 sont alimentés par la tension nominale U.

Ceci correspond au montage de la figure 4 et à l'utilisation classique d'une machine électrique réversible dans son fonctionnement en moteur. La caractéristique couple-vitesse est représentée par la droite C1 sur la figure 5.

Cas n° 2 : l'inducteur 1 est alimenté par la tension nominale U, tandis que l'induit 4 est alimenté par la tension yU. La caractéristique de couple-vitesse est alors la droite C2 de la figure 5. Par rapport à la droite C1, le gain en couple et vitesse est dans le rapport y, car la tension passe de la valeur nominale U à la valeur yU, tandis que le coefficient K1 reste égale à lui-même.

Cas n° 3 : l'inducteur 1 et l'induit 4 sont alimentés sous la tension yU.

La caractéristique couple-vitesse est alors représentée par la droite C3 sur la figure 5, le couple étant multiplié par  $y^2$ , pour une même vitesse de rotation, par rapport au fonctionnement correspondant à la droite C1. En effet, la tension est multipliée par y, ainsi que le rapport de proportionnalité qui devient yK1 au lieu de K1.

La vitesse correspondant au couple nul est la même dans le cas n° 1 et dans le cas n° 3.

Aux droites C1, C2, C3 correspondent les droites i1, i2, i3 du courant d'inducteur (enroulement 1) parallèles à l'axe des abscisses (courant inducteur constant) et les droites I1, I2, I3 du courant d'induit (enroulement 4), à pente négative.

Les caractéristiques couple-vitesse C2, et surtout C3 (figure 5), permettent d'obtenir aux vitesses de rotation relativement faibles de la machine électrique fonctionnant en moteur, un couple élevé. Ces caractéristiques conviennent à un fonctionnement en démarreur, car la gamme de vitesses obtenue est suffisante.

Ainsi, en établissant conformément à l'invention, à partir de la tension U de batterie, une tension yU régulée supérieure à celle de la batterie, et en utilisant au moins cette tension yU pour l'alimentation de l'induit 4 (courbe caractéristique C2 sur la figure 5), et le cas échéant également pour l'alimentation de l'inducteur 1 (droite C3 sur la figure 5), les caractéristiques souhaitées en couple-vitesse pour le fonctionnement de la machine électrique en démarreur sont obtenues.

Toutefois, comme déjà évoqué précédemment, si la machine électrique est utilisée comme moteur de

relance d'un volant d'inertie, les gammes de vitesses ne sont plus suffisantes.

Par exemple, pour atteindre une vitesse de 4000 tours/minute, avec un couple qui sera égal à 25 % du couple de démarrage, la vitesse limite à couple nul pour la droite C2 de la figure 5 devrait être de  $4000 \times (100/75) = 5333$  tours/minute. Si on considère que la vitesse limite à couple nul pour la droite C1 est égal à 600 tours/minute (comme dans le cas de la figure 2), un coefficient d'amplification  $\gamma$  de 8,88 sera nécessaire pour obtenir la caractéristique C3 satisfaisante. Avec un tel coefficient  $\gamma$  de 8,88, le courant dans l'induit 4, qui augmente dans les mêmes proportions, devient très élevé et le coût de l'électronique (moyens de commutation électronique 8) peut devenir exorbitant.

Le procédé de l'invention prévoit, pour éviter un tel inconvénient, un pilotage de l'excitation de l'inducteur 1 de manière à provoquer une augmentation de la vitesse de rotation pour laquelle le couple du moteur s'annule. Cette augmentation est obtenue en faisant varier la tension d'alimentation ou le courant de l'inducteur 1 de telle sorte que le flux électromagnétique  $\Phi$  varie et donc le coefficient  $k$  reliant la force contre-électromotrice à la vitesse de rotation (voir équation n°1, page 9, ligne 12).

De préférence, le pilotage de l'excitation est effectué de manière à obtenir un couple maximal pour chaque vitesse de rotation.

Des explications théoriques vont d'abord être fournies pour mieux faire comprendre le procédé de l'invention. Ces explications théoriques s'appliquent essentiellement au cas de base (cas n° 1 de la page 10) qui correspond à l'alimentation de l'inducteur et de l'induit à partir de la tension nominale  $U$ . On pourra ensuite facilement extrapoler aux cas n° 2 et 3 évoqués à la page 10.

On considère à nouveau l'équation (4) (page 9, ligne 12) du couple en fonction de la tension nominale, de la vitesse et du coefficient  $k$ . On calcule la dérivée par rapport à  $k$  du couple  $C$ . On obtient :

$$\frac{dC}{dk} = \frac{1}{R} (U - 2k\omega) \quad (5)$$

Cette dérivée montre que le couple  $C$  pour chaque vitesse est maximale lorsque  $k = U/2$ . Un procédé optimal pour étendre la zone de vitesse, c'est-à-dire pour augmenter la vitesse de rotation pour laquelle le couple du moteur s'annule, consiste à faire varier  $k$  suivant une loi hyperbolique en fonction de  $\omega$ . Cette variation de  $k$ , comme déjà évoqué précédemment, sera obtenue en agissant sur la tension ou sur le courant d'excitation appliqué à l'enroulement 1.

La variable  $k$  est physiquement limitée à la valeur  $K1$  pour les vitesses de rotation inférieures allant de la vitesse nulle  $\omega = 0$  jusqu'à la vitesse  $\omega = \omega_1$  telle que :

$$K1 = \frac{U}{2\omega_1} \quad \text{soit } \omega_1 = \frac{U}{2K1}$$

Pour les vitesses de rotation supérieures à  $\omega_1$ , on pilote  $k$ , en agissant essentiellement sur le flux  $\Phi$  utile par pôle produit par l'inducteur, (voir équation n° 1), pour avoir à chaque instant :

$$k = \frac{U}{2\omega} \quad (6)$$

et

$$C = \frac{k}{R} (U - k\omega) = \frac{U^2}{4R\omega} \quad (7)$$

Les caractéristiques de couple  $C$ , de courant d'induit 1 (courant dans le stator 4) et de courant d'inducteur 1 (courant dans l'enroulement d'excitation 1) sont tracées sur la figure 6.

La courbe 10 du courant d'inducteur en fonction de la vitesse de rotation, courbe qui correspond au pilotage souhaité de l'excitation pour obtenir la caractéristique couple-vitesse souhaitée, comprend, tout d'abord, un segment 11 rectiligne parallèle à l'axe des abscisses. Ce segment 11 correspond à une intensité traversant l'inducteur 1 constante ; à ce segment 11 correspond la valeur  $K1$ , constante, du coefficient de proportionnalité  $k$ . A partir de la vitesse  $\omega = U/2K1$ , l'intensité du courant inducteur diminue selon une loi hyperbolique, représentée par l'arc de courbe 12. Le coefficient  $k$  diminue d'une manière semblable.

La caractéristique 13 du couple  $C$  se compose d'un segment rectiligne à pente négative 14 depuis la vitesse nulle jusqu'à  $U/2K1$ . Pour les vitesses supérieures à cette dernière valeur, la courbe 13 se poursuit par un arc 15 d'hyperbole, tournant sa concavité vers le haut. Une valeur non nulle du couple est ainsi maintenue pour des vitesses supérieures à  $U/K1$ .

Le segment rectiligne en tirets 16 prolongeant le segment 14 correspond au cas de fonctionnement illustré par la figure 2, en l'absence de pilotage de l'excitation. On voit que pour la vitesse  $U/K1$  à laquelle le couple s'annule dans le cas d'un fonctionnement sans pilotage de l'excitation, selon l'invention, le couple obtenu est égal à  $K1U/4R$ .

Pour une vitesse double  $2U/K1$ , le couple obtenu avec le pilotage de l'excitation est égal à  $K1U/8R$ .

La courbe 17 illustre la variation du courant d'induit  $I$  en fonction de la vitesse de rotation.

Cette courbe 17 comprend un premier segment rectiligne 18 à pente négative entre la vitesse nulle et la vitesse  $U/2K1$ . Au-delà de cette vitesse, la courbe se poursuit par un segment rectiligne 19 parallèle à l'axe des abscisses, correspondant à une intensité d'induit constante.

Le cas de fonctionnement évoqué précédemment, correspondait à l'alimentation de l'induit et de l'inducteur

à partir de la tension nominale U.

Si l'induit 4 est alimenté à partir d'une tension régulée  $yU$ , tandis que l'inducteur 1 reste alimenté à partir de la tension nominale U, les caractéristiques de fonctionnement du moteur sont illustrées par la figure 7 qui se déduit de la figure 6 par l'introduction du coefficient d'amplification  $y$  sur les valeurs faisant intervenir la tension U. Ces valeurs ont été portées sur l'axe des abscisses et des ordonnées, et il n'est pas nécessaire de commenter plus en détail cette figure 7 sur laquelle on a désigné par les mêmes références numériques que sur la figure 6, les diverses parties des caractéristiques concernées.

Dans le cas de fonctionnement où l'induit 4 et l'inducteur 1 sont alimentés à partir de la tension  $yU$ , les courbes caractéristiques de fonctionnement en moteur deviennent celles de la figure 8 qui se déduisent de celles de la figure 6. Les valeurs remarquables ont été portées en abscisse et en ordonnée et exprimées en fonction de  $y$ , U, R et  $K_1$ . Les différentes parties de courbes ont été désignées par les mêmes références numériques que sur la figure 6.

L'extension de la caractéristique couple-vitesse, par pilotage de  $k$  (pilotage de l'excitation), permet de réduire le coefficient d'amplification  $y$  pour obtenir une vitesse de rotation souhaitée. Dans l'exemple numérique évoqué précédemment pour une vitesse de rotation souhaitée de 4000 tours/minute on peut réduire le coefficient  $y$  à 6,66, grâce au pilotage de  $k$ , au lieu de la valeur 8,88 exprimée précédemment.

Avantageusement, lors du fonctionnement en moteur de la machine électrique, on pilote l'induit 4 de manière à limiter l'intensité  $I$  du courant circulant dans cet induit à une valeur prédéterminée pour des vitesses de rotation allant de la vitesse nulle à une valeur limite.

Habituellement, comme cela apparaît sur les figures 6, 7 et 8, on impose un courant de démarrage, dans l'induit 4, rotor bloqué, égal à deux fois la valeur minimale du courant d'induit  $I$ .

La variante avantageuse du procédé de l'invention, qui vient d'être évoquée, permet de limiter le courant d'induit à une valeur unique, à savoir sa valeur minimale, en pilotant la tension d'alimentation de l'induit 4.

Pour les explications qui suivent on va considérer le cas de base où l'inducteur 1 et l'induit 4 sont alimentés à partir de la tension nominale U, ce qui correspond aux caractéristiques de la figure 6.

Sur cette figure 6, la valeur minimale de l'intensité  $I$  d'induit est égale à la moitié de l'intensité rotor bloqué, c'est-à-dire égale à :  $1/2 \times U/R$ .

Comme visible sur cette figure 6, dans la zone de vitesses correspondant au segment 18, l'intensité d'induit est habituellement supérieure à cette valeur minimale.

Pour maintenir l'intensité d'induit  $I$  à la valeur minimale  $U/2R$  dans la zone de vitesses allant de  $\omega = 0$  à la valeur limite  $\omega_1 = U/2K_1$ , on réduit, à partir de la valeur nominale U, la tension d'alimentation de l'induit 4 dans un rapport  $z$  de telle sorte que :

$$I = \frac{U}{2R} = \frac{zU - e}{R} = \frac{zU - k\omega}{R}$$

$$\text{d'où} \quad z = \frac{1}{2} + \frac{k\omega}{U} \quad (8)$$

avec, en fait,  $k = K_1$ .

Le coefficient  $z$  doit donc varier linéairement de  $1/2$  pour  $\omega = 0$  à  $1$  pour  $\omega_1 = U/2K_1$ .

Dans la pratique, on alimentera l'induit 4 sous une tension  $U/2$ , moitié de la valeur nominale, à la vitesse nulle, et on fera augmenter linéairement cette tension en fonction de  $\omega$  jusqu'à la valeur nominale U atteinte pour  $\omega_1 = U/2K_1$ . Au-delà de cette vitesse  $\omega_1$ , l'induit 4 restera alimenté sous cette tension nominale U constante.

Cette limitation du courant d'induit, dans la plage des vitesses considérée, entraîne une diminution du couple C qui demeurera égal à la valeur constante :

$$C = K_1 \cdot I = K_1 \frac{U}{2R} \quad (9)$$

Les caractéristiques de la figure 6 se trouvent modifiées de la manière illustrée sur la figure 9.

La caractéristique 17a du courant d'induit, sur la figure 9, est constitué par un segment rectiligne parallèle à l'axe des abscisses. Ainsi, le segment incliné 18, avec une pente négative, de la figure 6 se trouve supprimé.

Pour la plage des vitesses comprises entre la vitesse nulle et  $U/2K_1$ , la caractéristique 13a du couple présente un segment 14a parallèle à l'axe des abscisses et dont l'ordonnée est égale à  $K_1 U/2R$ . Cette ordonnée est égale à la moitié de l'ordonnée à l'origine de la caractéristique 13 du couple sur la figure 6. Au-delà de la vitesse  $U/2K_1$ , la caractéristique de couple est constituée par un arc d'hyperbole 15a semblable à l'arc 15 de la figure 6.

La caractéristique 12a de l'intensité du courant d'inducteur (courant dans l'enroulement 1) et du coefficient  $k$  est semblable à la caractéristique 12 de la figure 6.

Les formules (8) et (9) peuvent être facilement transposées aux cas n° 2 et n° 3 évoqués à la page 10.

Pour le cas n° 2 correspondant à la figure 7, où l'inducteur 1 est alimenté à partir de la tension nominale U pilotée en fonction de la vitesse de rotation, et l'enroulement induit 4 est alimenté sous la tension élevée  $yU$ , le coefficient  $z$  pourra varier linéairement selon la formule suivante :

$$z = \frac{1}{2} + \frac{K1\omega}{yU} \quad (10)$$

5 Le couple est donné par la formule :

$$C = \frac{K1yU}{2R} \quad (11)$$

10

Les caractéristiques tracées sur la figure 10 correspondent à ce deuxième cas de fonctionnement.

Dans le cas de fonctionnement n° 3, illustré précédemment sur la figure 8, pour lequel l'induit 4 et l'inducteur 1 sont alimentés à partir de la tension élevée  $yU$ , le coefficient  $z$  est obtenu par l'équation (8) donnée précédemment à savoir :

15

$$z = \frac{k\omega}{U} \quad (8)$$

Comme  $k$  est maintenu égal à  $K1$ , le couple est donné par :

20

$$C = \frac{K1y^2U}{2R} \quad (12)$$

La figure 11 donne les caractéristiques correspondant au fonctionnement selon ce cas n° 3.

25

Les figures 12 à 14 illustrent des exemples de réalisation d'une installation pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention.

La réalisation pratique des installations correspondant aux trois cas de contrôle d'inducteur et d'induit évoqués précédemment s'effectue à partir d'ensembles ou de sous-ensembles classiques combinés selon le procédé.

Pour l'inducteur 1, le régulateur 2 habituel de l'alternateur peut être utilisé.

30

Pour l'induit 4, un montage du type alimentation à découpage peut parfaitement convenir.

La figure 12 est un schéma synoptique d'une machine réversible et de l'installation de commande E associée permettant de réaliser un pilotage de la tension de l'inducteur 1 alimenté à partir de la tension nominale  $U$ , et un pilotage de la tension d'induit 4 alimenté à partir de la tension élevée  $yU$ .

35

Les éléments de la figure 12 identiques ou jouant des rôles analogues à des éléments déjà décrits à propos de la figure 3 sont désignés par les mêmes références, éventuellement suivies de la lettre a, leur description pouvant ainsi ne pas être reprise.

L'installation E comprend des moyens de branchement J1 et J2 en position générateur (fonctionnement de la machine électrique en alternateur) et en position moteur. Ces moyens J1 et J2 sont constitués par des inverseurs à deux positions A (alternateur) et M (moteur).

40

L'inverseur J1 en position A assure une liaison entre une borne d'entrée du régulateur 2a et la sortie du comparateur 6a, propre à comparer une tension de référence avec la tension  $U$ . L'autre inverseur J2 dont le déplacement est couplé à J1, se trouve également en position A et assure, dans cette position, la liaison entre la sortie du pont de diodes 3 et la borne + de la batterie.

45

Le fonctionnement en alternateur de la machine électrique pour cette position A des moyens de branchement J1 et J2 est classique. Le régulateur 2a agit sur l'excitation 1 de manière à charger la batterie à sa valeur nominale, par exemple 14 Volts ou 28 Volts, et à fournir le courant aux consommateurs S du véhicule.

Pour son autre position M, l'inverseur J1 relie la borne d'entrée du régulateur 2a à une ligne recevant, d'une sortie de l'électronique de commande 9a un signal représentant  $U/2\omega$  élaboré par cette électronique 9a. Ce signal correspond au pilotage défini par l'équation (6) de la page 13.

50

Le régulateur 2a qui reçoit sur son entrée le signal représentant  $U/2\omega$  va réguler le courant d'excitation circulant dans l'enroulement 1 suivant cette loi, ce qui permet d'obtenir le pilotage souhaité de l'inducteur.

Le module électronique 9a commande en outre, comme expliqué à propos de la figure 4, l'alimentation des phases L1, L2, L3.

55

L'autre inverseur J2 dans sa position M assure la liaison de la sortie du pont de diodes 3 avec la sortie d'une source de tension régulée 20, cette sortie se trouvant sous la tension  $zyU$ . La source 20 est un montage de type alimentation à découpage. Le coefficient  $zy$  est élaboré, également, par l'ensemble électronique 9a dont une sortie est reliée à l'entrée d'un circuit comparateur 21. Ce circuit reçoit, sur une autre entrée, la tension fournie à la sortie de la source 20. Le circuit 21 fournit, sur sa sortie reliée à une entrée de la source 20, un signal représentant l'écart entre la tension délivrée par la source 20 et la tension de référence  $zyU$  qui pilote la source 20 de manière à fournir à sa sortie, une tension égale à  $zyU$ .

60

Il est à noter que ce coefficient  $y$  peut être supérieur à l'unité, ou le cas échéant égal à l'unité.

La figure 13 montre schématiquement une autre réalisation possible de l'installation de commande selon l'invention, installation équivalente à celle de la figure 12, mais se basant cette fois sur un pilotage de l'induit 4 et de l'inducteur 1 au niveau des courants, alors que dans le cas de la figure 12 le pilotage était effectué au niveau des tensions.

65

Les éléments de la figure 13 identiques ou jouant des rôles semblables à des éléments de l'installation de la figure 12 sont désignés par les mêmes références éventuellement suivies de la lettre b. Le montage de la figure 13 nécessite des capteurs de courant représentés par les deux résistances 22, 23 placées respectivement en série avec l'enroulement inducteur 1 et l'enroulement induit 4.

La sortie de l'électronique de commande 9b, sur laquelle est fourni un signal  $U/2\omega r$ ,  $r$  étant la valeur de la résistance 22, est reliée à une entrée d'un comparateur 24 dont la sortie est reliée à la borne M de l'inverseur J1. Une autre entrée du comparateur 24 reçoit le signal de tension créé aux bornes de la résistance 22 par le courant  $i$  d'inducteur. Le comparateur 21, dont la sortie est reliée à une entrée de la source de tension régulée 20 reçoit, sur une entrée, un signal, élaboré par l'électronique de commande 9b, représentant la valeur  $I_n$  constante qui est égale soit à  $U/2R$  dans le cas n° 1 de la page 10, soit  $yU/2R$  pour le cas n° 2, page 10.

L'autre entrée du comparateur 21 reçoit le signal de tension prélevée aux bornes de la résistance 23. Plus précisément, cette entrée est reliée à une borne 25 de la résistance 23 dont l'autre borne est reliée à la masse.

Le fonctionnement de l'installation de la figure 13 est analogue à celui décrit pour la figure 12, la différence consistant essentiellement dans le pilotage du courant d'excitation  $i$  en fonction de la vitesse  $\omega$  et du courant induit  $I$  qui est maintenu à la valeur constante  $I_n$ .

Le pilotage du courant d'excitation ou d'inducteur  $i$  est assuré par le régulateur 2a en réponse au signal de sortie fourni par le comparateur 24.

Le pilotage du courant  $I$  d'induit est assuré par la source de tension 20 qui fournit une tension  $zyU$ , en réponse au signal de sortie du comparateur 21, tel que  $I$  reste égal à  $I_n$ .

Le type de montage de la figure 13 permet de réaliser facilement les pilotages du cas n° 3 de fonctionnement de la page 10, correspondant à l'alimentation de l'inducteur et de l'induit à partir d'une tension  $yU$ .

Pour cela, comme représenté sur la figure 14, un troisième inverseur J3, analogue à J1 et à J2, est prévu sur le conducteur de liaison de l'enroulement d'excitation 1 à la borne + de la batterie 5. Cet inverseur J3 est branché de manière qu'en position A (alternateur) l'enroulement d'excitation 1 est alimenté à partir de la tension  $U$  de batterie. Cet inverseur J3 en position M assure l'alimentation de l'enroulement d'excitation 1 à partir de la tension  $zyU$  fournie par la source 20.

L'électronique de commande 9b élabore un signal  $I_n = yU/2R$ .

On a repris, sur cette figure 14, les mêmes références que celles utilisées sur la figure 13 pour désigner les éléments identiques ou jouant des rôles analogues.

Les moyens de branchement J1, J2 et J3 de cette figure 14 sont reliés de manière à se déplacer ensemble et à se trouver simultanément soit sur la position A soit sur la position M.

Les fonctions à réaliser par l'électronique de commande pourraient être avantageusement assurées par un microprocesseur, lequel pourrait prendre en charge d'autres fonctions utiles telles que protection en courant et tension, protection thermique, diagnostic de panne.

## Revendications

1. Procédé de commande d'une machine électrique réversible, pouvant fonctionner soit en générateur (alternateur) soit en moteur, destinée à un véhicule automobile, cette machine comprenant un induit et un inducteur bobinés, l'inducteur étant commandé, lors du fonctionnement en alternateur, par un régulateur propre à réguler la tension délivrée par l'induit au réseau électrique du véhicule, caractérisé par le fait que, pour le fonctionnement en moteur, on contrôle la tension d'alimentation de l'induit (4) et/ou l'excitation (1) afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées en couple-vitesse.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que dans le cas du fonctionnement en moteur-démarrateur, on établit, à partir de la tension ( $U$ ) de batterie, une tension régulée ( $yU$ ) supérieure à celle de la batterie, cette tension régulée étant utilisée au moins pour l'alimentation de l'induit (4).

3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé par le fait que l'inducteur (1) est également alimenté par la tension régulée ( $yU$ ).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que, lorsque le fonctionnement en moteur englobe la relance d'un volant d'inertie, lors de ce fonctionnement on pilote l'excitation de l'inducteur (1) de manière à provoquer une augmentation de la vitesse de rotation pour laquelle le couple du moteur s'annule.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé par le fait que le pilotage de l'excitation (1) est effectué de manière à obtenir un couple maximal pour chaque vitesse de rotation.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé par le fait que l'on pilote un coefficient ( $k$ ) de proportionnalité entre la force contre-électromotrice ( $e$ ) et la vitesse de rotation ( $\omega$ ) pour avoir à chaque instant  $k = U/2\omega$ ,  $U$  représentant la tension d'alimentation de l'induit.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé par le fait que l'on pilote l'excitation (1) à partir d'une vitesse déterminée ( $\omega$ ).

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que, lors du fonctionnement en moteur, on pilote l'induit (4) de manière à limiter l'intensité ( $I$ ) du courant circulant dans cet induit à une valeur prédéterminée pour des vitesses de rotation allant de la vitesse nulle à une

valeur limite, cette intensité étant de préférence maintenue à une valeur constante sur toute la plage de vitesses.

5 9. Procédé de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes pour une machine électrique dont l'induit (4) comporte plusieurs phases (L1, L2, L3) et dont le fonctionnement en moteur est assuré par une commutation électronique (8).

10 10. Installation pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée par le fait qu'elle comprend des moyens de branchement (J1, J2) en position générateur (A) et en position moteur (M) ainsi que des moyens de contrôle (9a, 20, 21) de la tension d'alimentation de l'induit (4) et/ou du régulateur (2a) agencés pour l'obtention des caractéristiques souhaitées, en tensions d'induit et d'inducteur en fonctionnement en moteur.

15 11. Installation pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée par le fait qu'elle comprend des moyens de branchement ( J1, J2, J3) en position générateur (A) et en position moteur (M), des moyens de contrôle (9b, 20, 21) et des capteurs de courant (22, 23) ainsi qu'un module électronique de commande (9b) qui contrôle les courants d'induit et d'inducteur pour obtenir les caractéristiques souhaitées.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

0260176

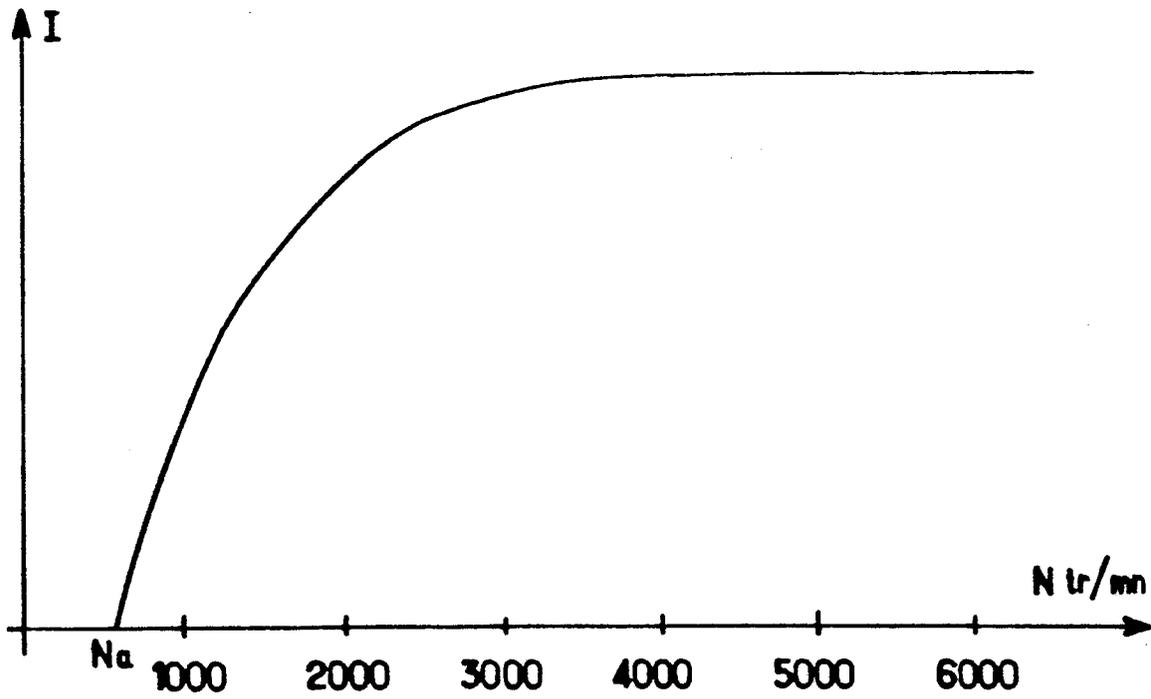


FIG. 1

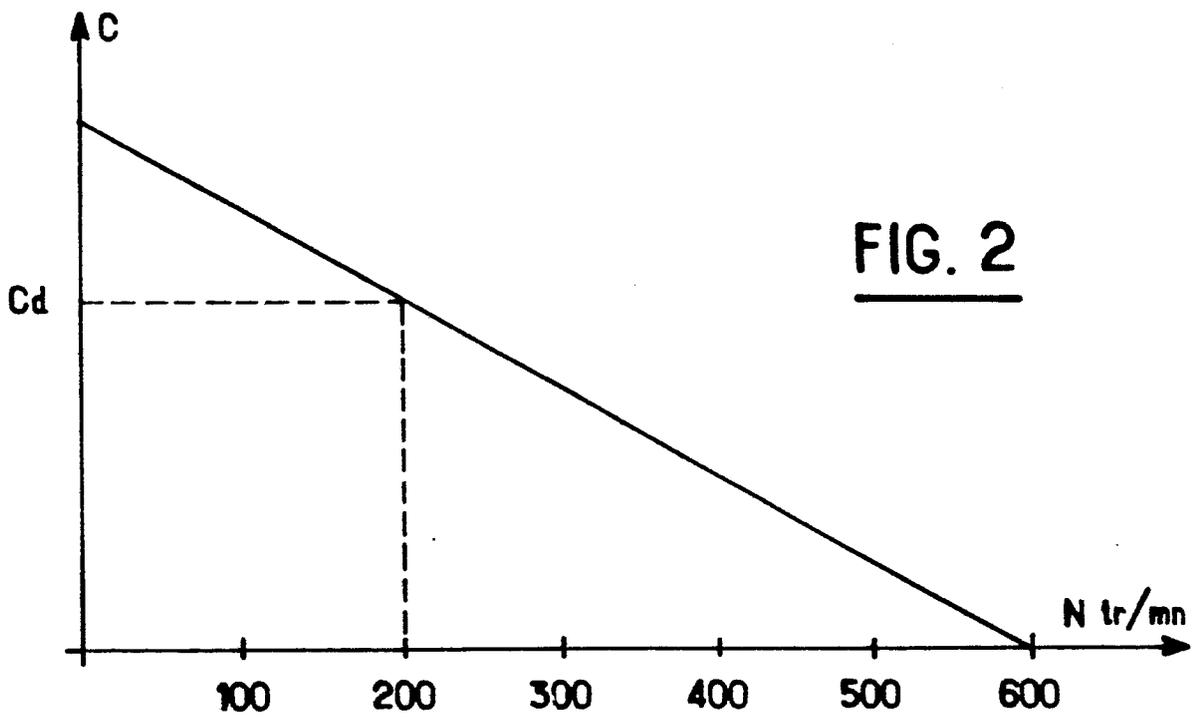
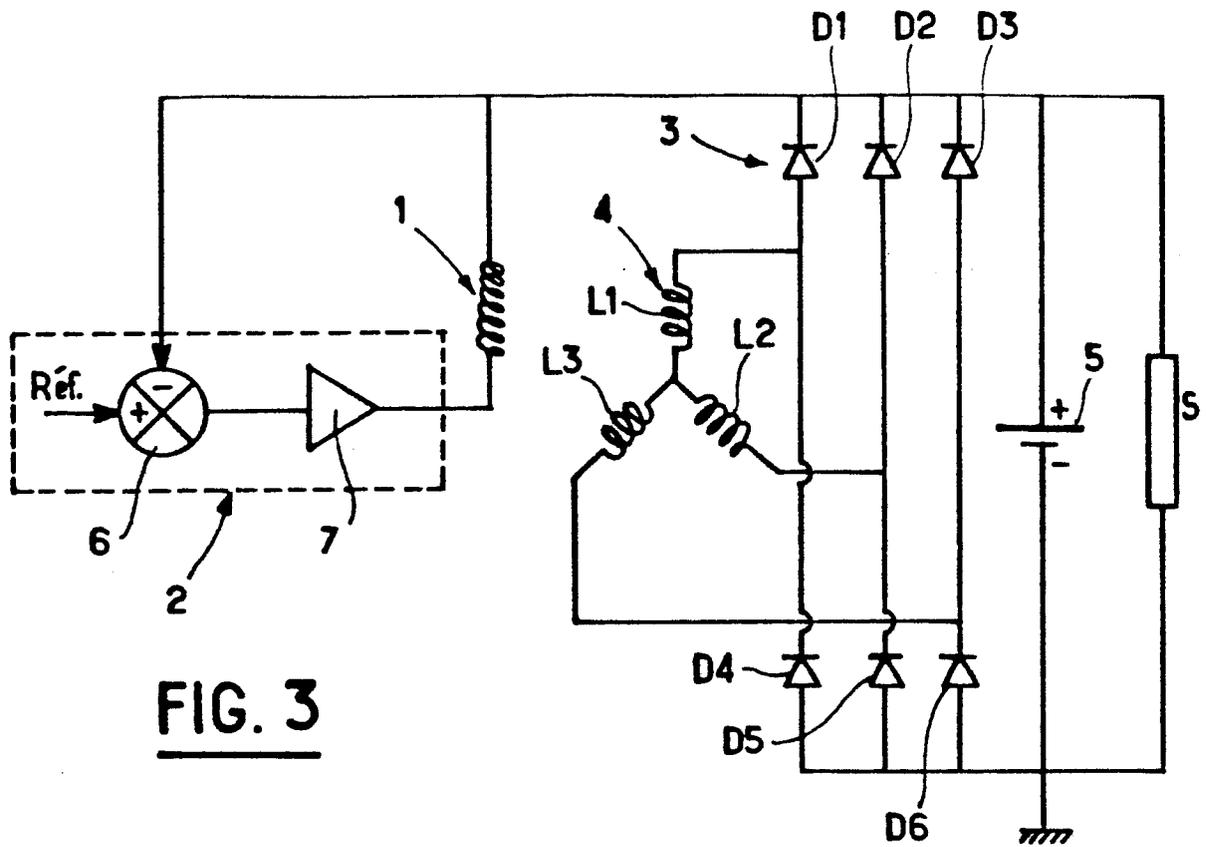
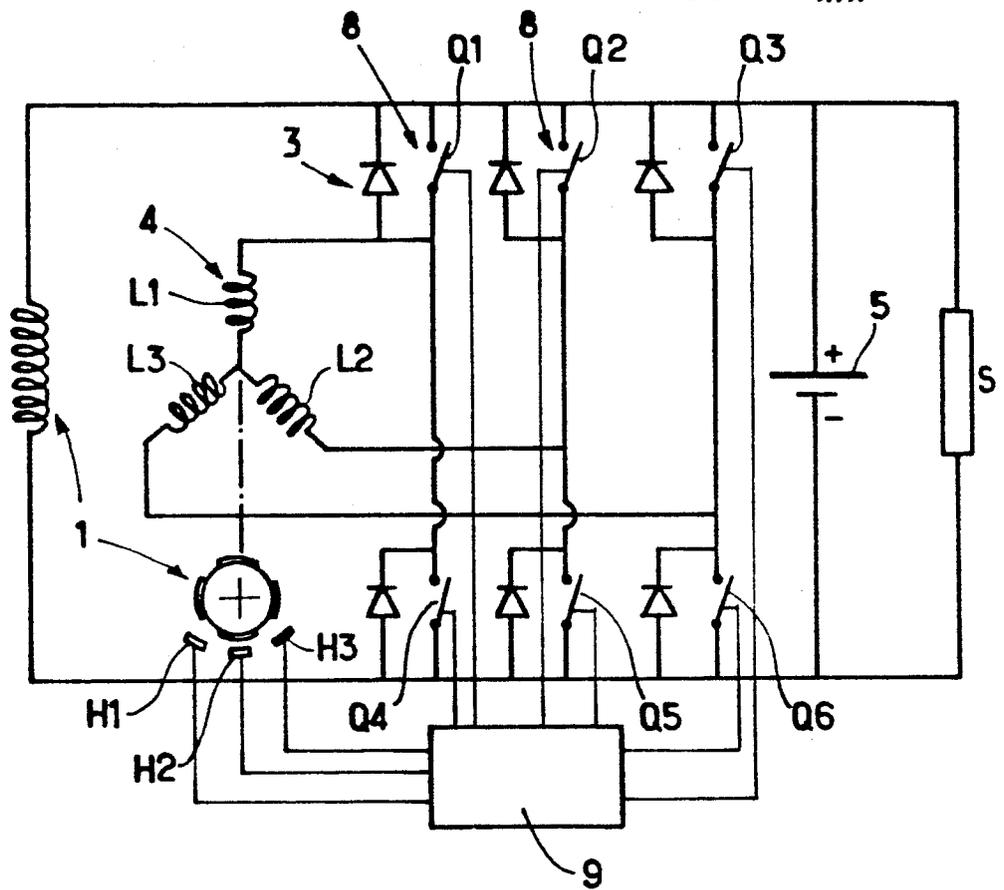


FIG. 2



**FIG. 3**



**FIG. 4**

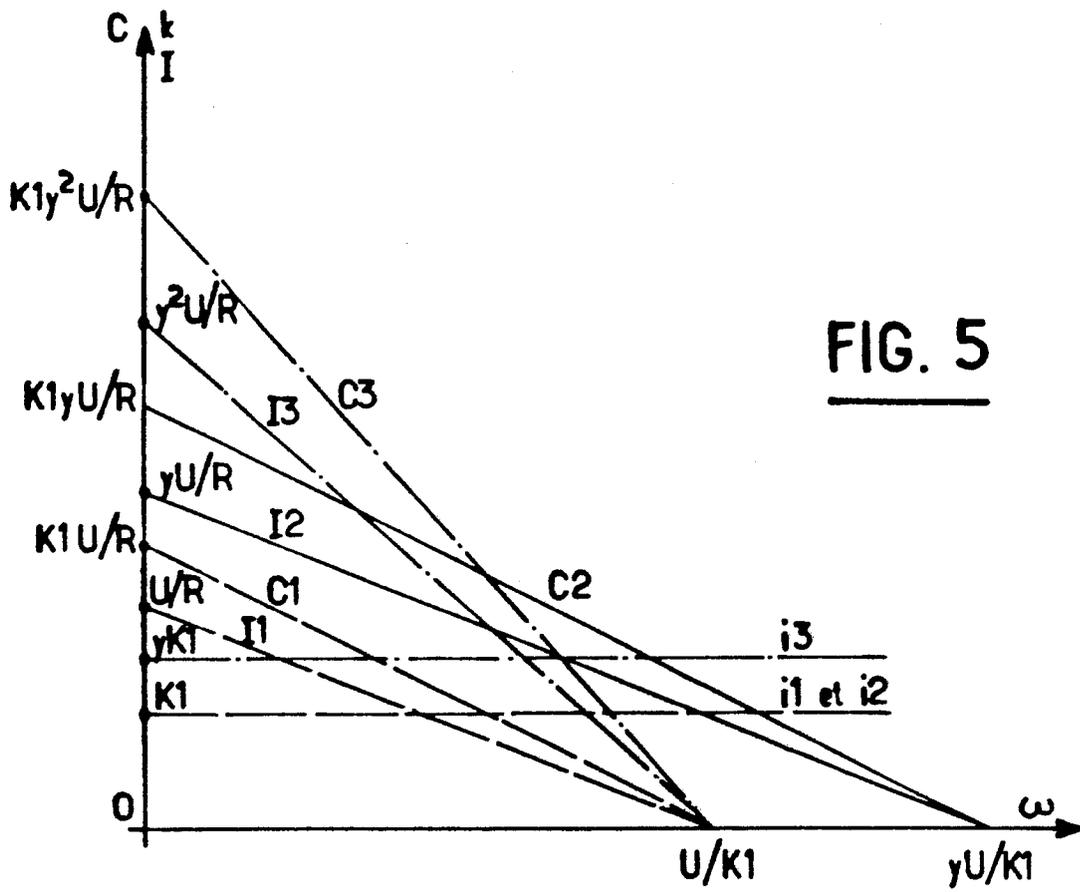


FIG. 5

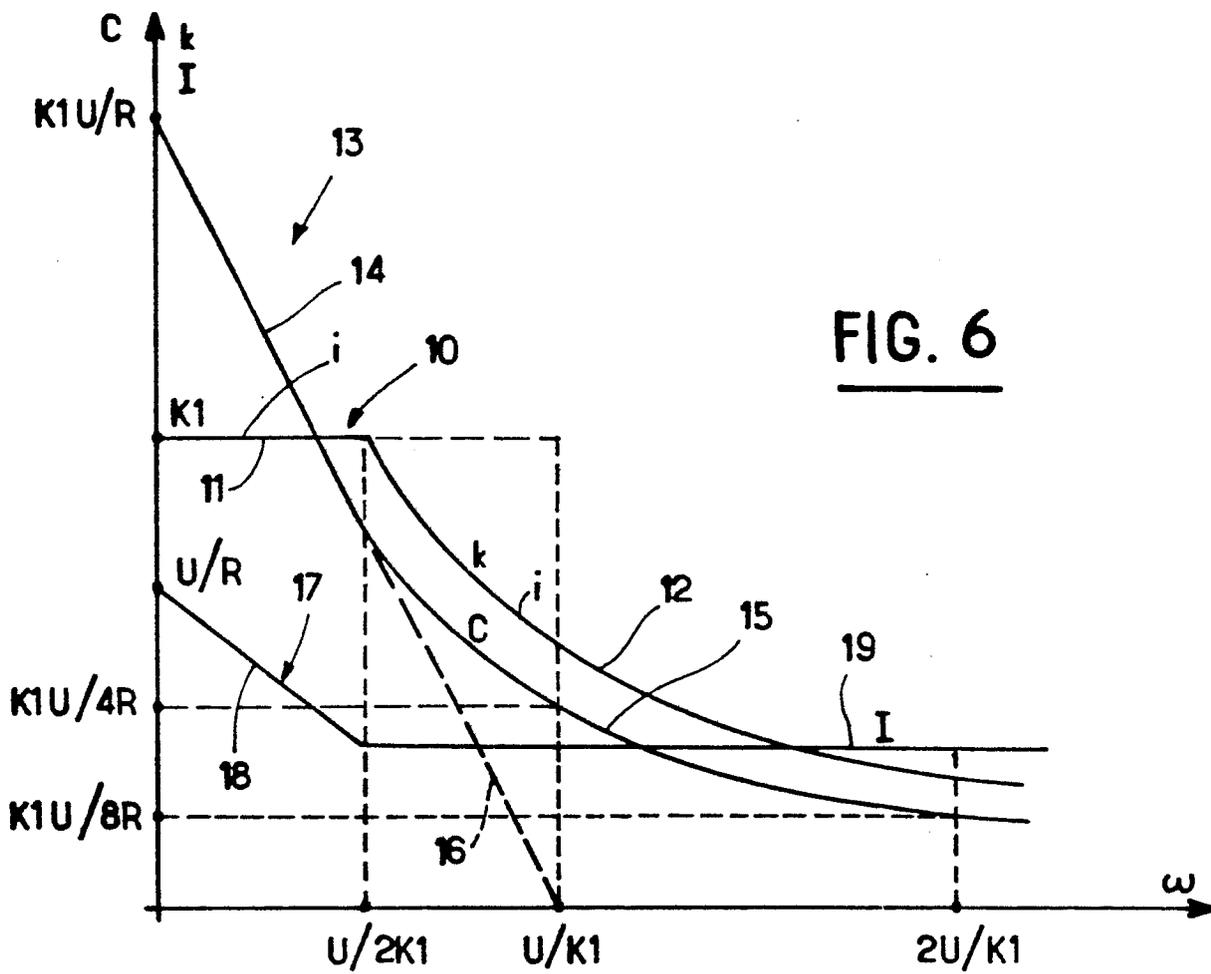
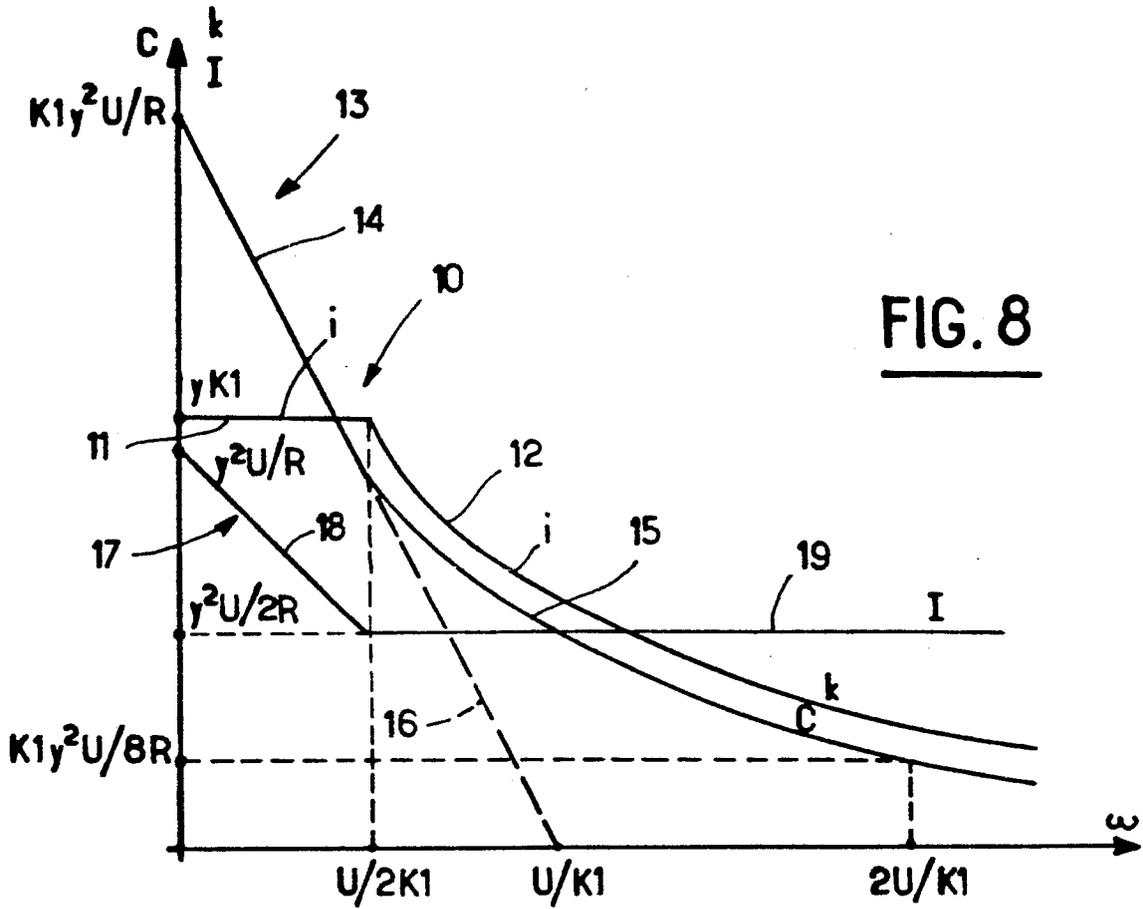
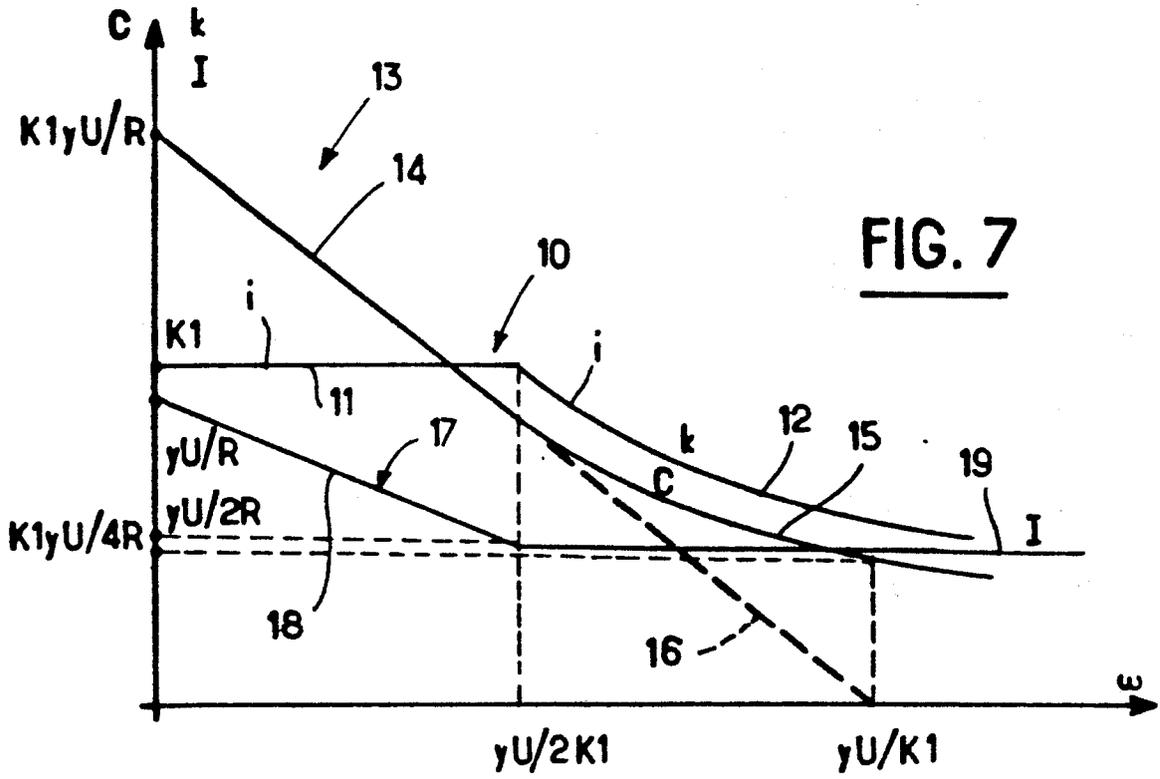
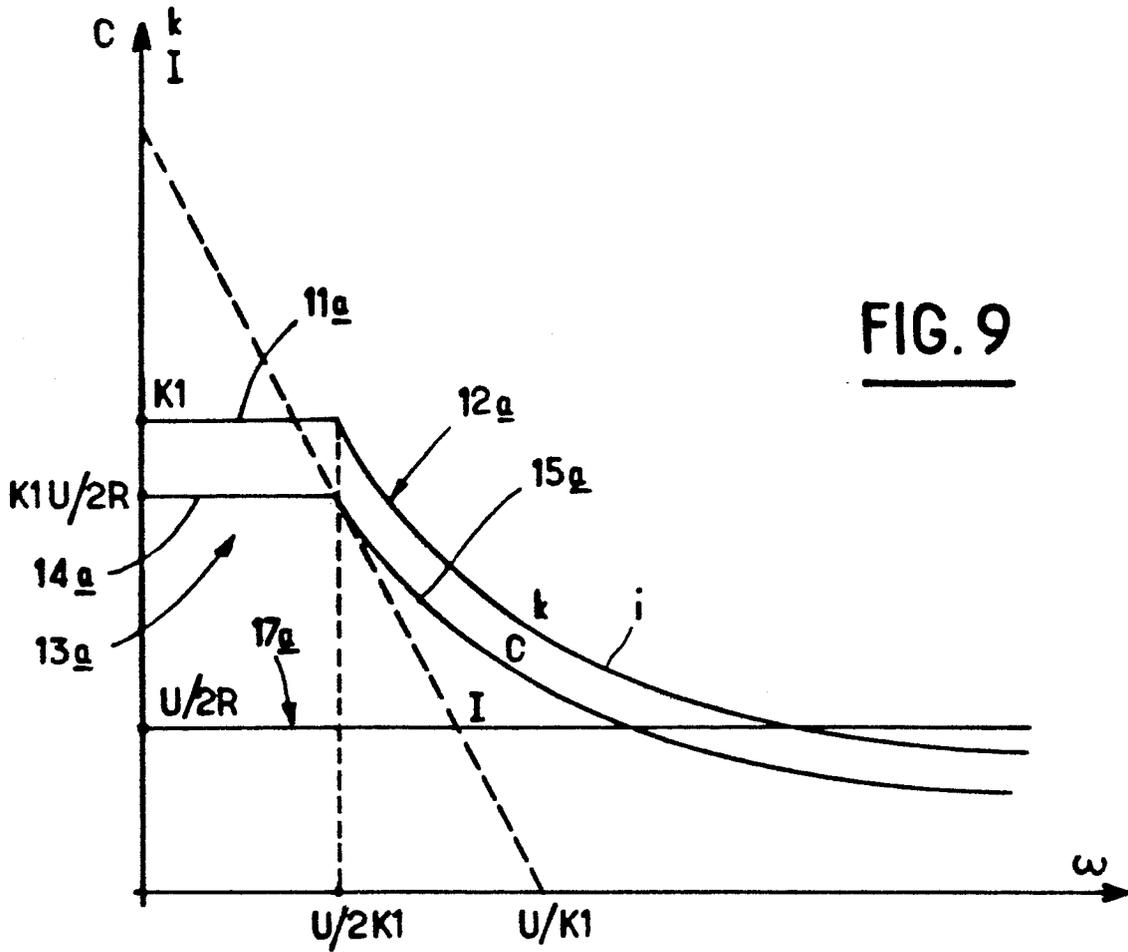
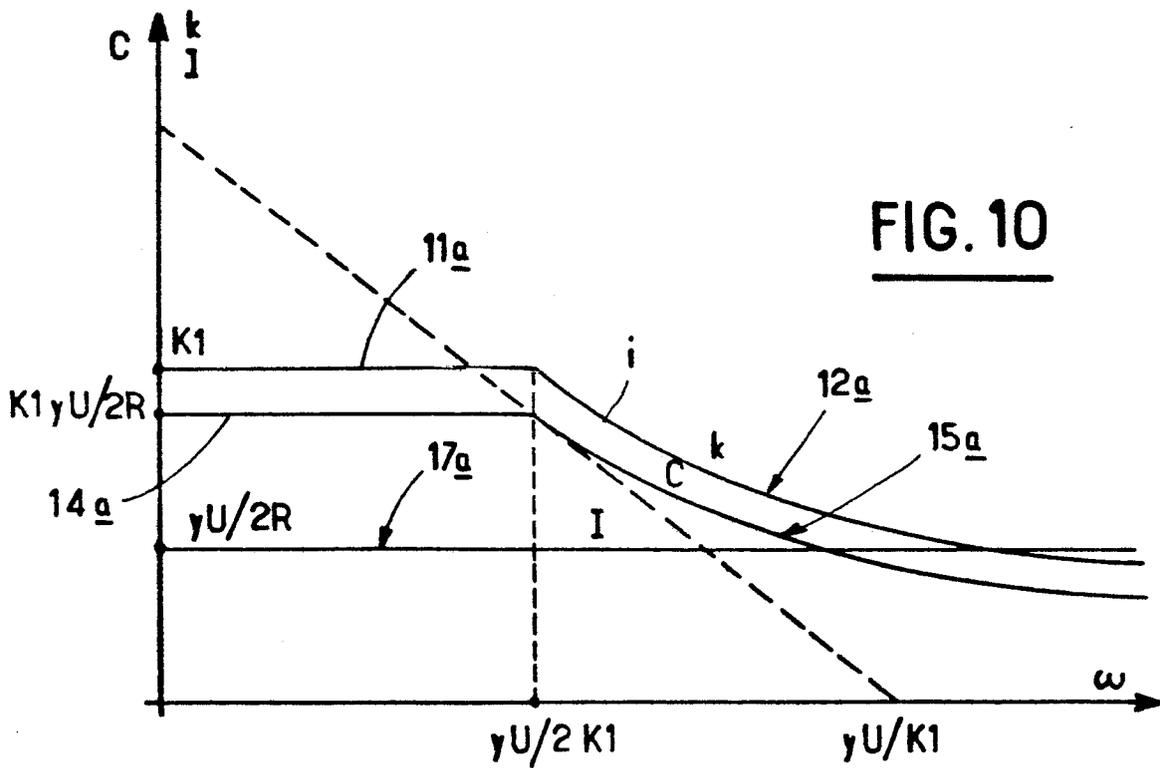


FIG. 6

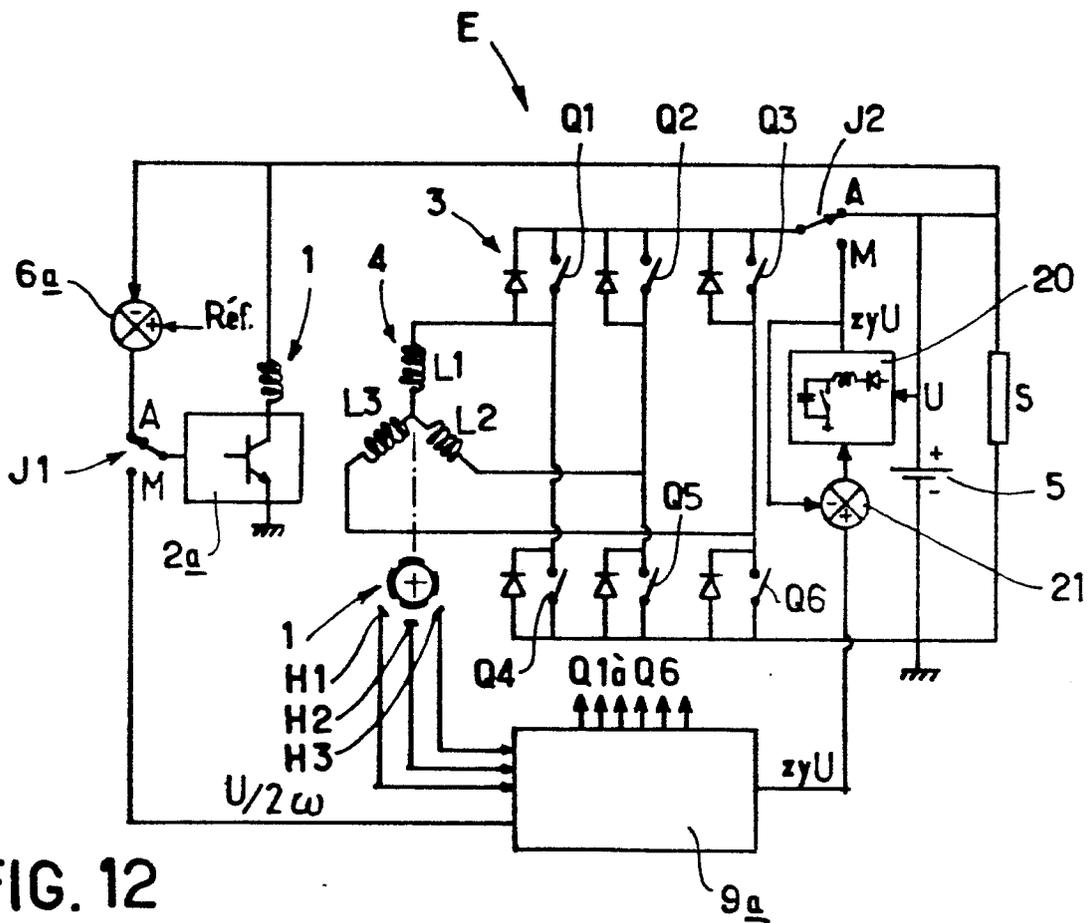
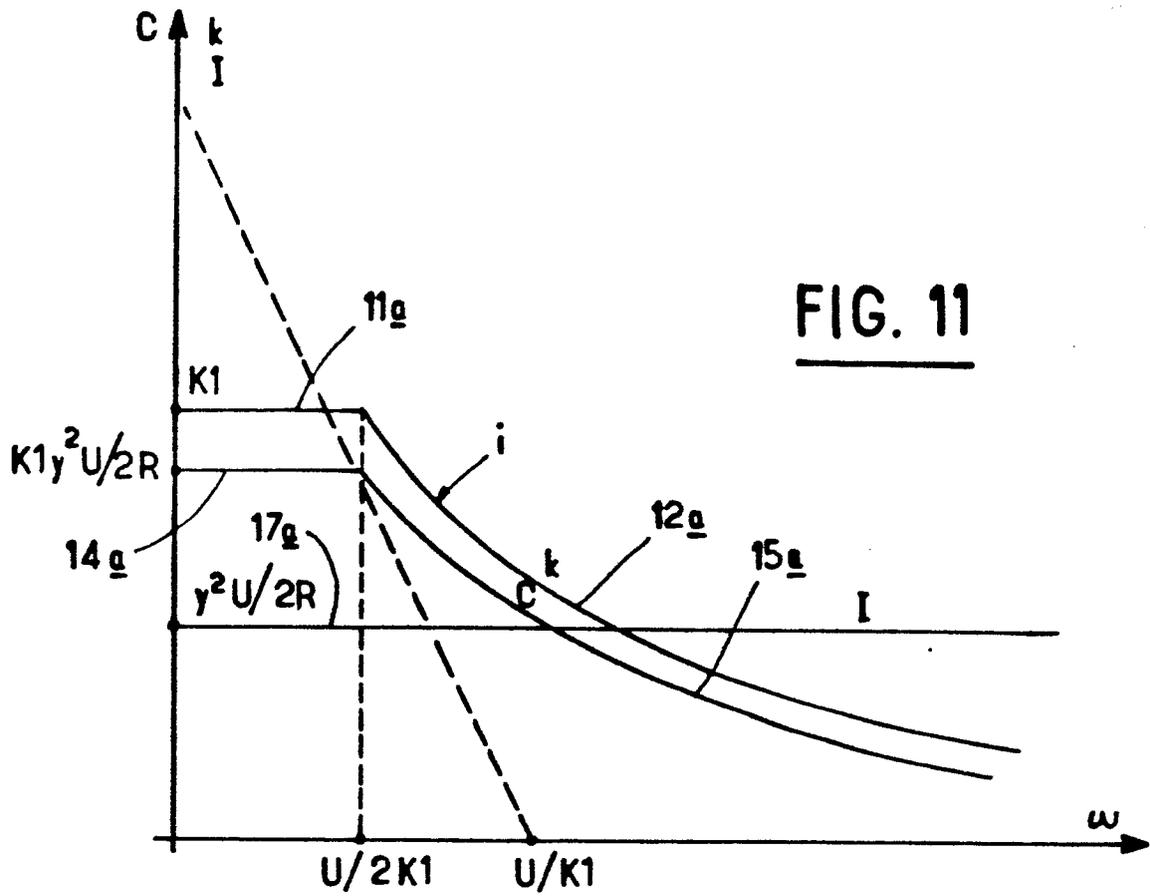




**FIG. 9**



**FIG. 10**







DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A	FR-A-2 512 406 (ROBERT BOSCH GmbH) * En entier * ----	1,9,10	F 02 N 11/04
A	DE-A-3 113 092 (VOLKSWAGENWERK) ----	1,9	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 9, no. 46 (M-360)[1769], 27 février 1985; & JP-A-59 185 872 (NISSAN JIDOSHA K.K.) 22-10-1984 ----	1,9,10	
A	WO-A-8 502 886 (SUNDSTRAND CORP.) ----		
A	DE-A-2 013 189 (CITROEN SA) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			F 02 N H 02 P H 02 J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lien de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 04-12-1987	Examineur BEYER F.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	