



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤1 Int. Cl.³: H 02 P

6/00

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

⑪

618 296

②1 Numéro de la demande: 8148/75

②2 Date de dépôt: 23.06.1975

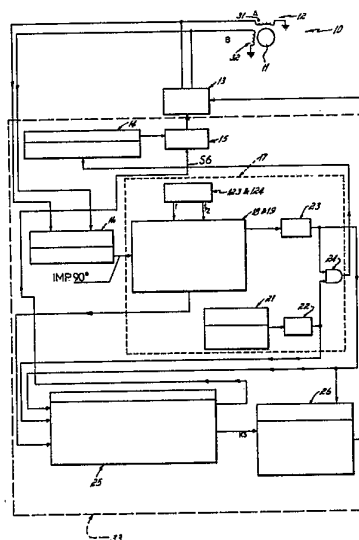
③0 Priorité(s): 01.07.1974 US 484563
24.03.1975 US 561537

②4 Brevet délivré le: 15.07.1980

④5 Fascicule du brevet
publié le: 15.07.1980⑦3 Titulaire(s):
Nu-Tech Industries, Inc., Dayton/OH (US)⑦2 Inventeur(s):
John Henry Knight, Kettering/OH (US)
Milton Stanley Isaacson, Dayton/OH (US)⑦4 Mandataire:
Dipl.-Ing. H.R. Werffeli, Zürich⑤4 **Procédé pour commander une machine électrique tournante et dispositif pour la mise en oeuvre du procédé.**

⑤7 Pour commander une machine de façon qu'elle fonctionne aussi efficacement qu'une machine continue à collecteur, mais avec une vitesse constante, choisie, sur une large plage de couples appliqués et que son dessin soit pratiquement indépendant de sa dimension, on détermine la position du rotor (11) en détectant les passages par zéro de la tension induite dans les enroulements (31,32) du stator (12) par le champ magnétique du rotor. On applique des signaux de puissance aux enroulements (31,32) du stator (12), suivant une séquence prédéterminée, quand le rotor (11) se trouve dans une position donnée par rapport aux enroulements (31,32) du stator (12). Les signaux de puissance sont créés pendant des durées toujours symétriques par rapport au moment où l'angle du couple a une valeur prédéterminée et leur amplitude est réglée en fonction du couple appliqué.

Le dispositif comprend un détecteur des passages par zéro (16), un circuit de commutation (17) commandé par le détecteur et commandant à son tour un commutateur (14) relié à un générateur des signaux de puissance (13). Ce générateur est commandé aussi par un circuit de centrage (25) des signaux de puissance et un circuit de réglage (26) de l'amplitude de ces signaux.



REVENDEICATIONS

1. Procédé pour commander une machine comprenant un stator ayant plusieurs enroulements créant chacun un flux lorsque du courant électrique y circule, un rotor capable de tourner par rapport au stator, et un dispositif destiné à créer un champ magnétique dans le rotor, ce champ magnétique ayant une orientation fixe par rapport au rotor et coopérant avec le flux afin de créer un couple de rotation appliqué au rotor lorsque la disposition de celui-ci par rapport aux enroulements du stator est telle que l'angle moyen du couple est supérieur à zéro, le champ magnétique du rotor induisant une tension électrique dans les enroulements du stator pendant la rotation du rotor, ce procédé étant caractérisé en ce que l'on détermine la position du rotor en fonction de la tension induite, et en ce que l'on applique des signaux de puissance aux enroulements du stator, suivant une séquence prédéterminée, quand le rotor se trouve dans une position prédéterminée, quand le rotor se trouve dans une position donnée par rapport aux enroulements du stator, les signaux de puissance étant créés pendant des durées toujours symétriques par rapport au moment où l'angle du couple a une valeur prédéterminée, et étant appliqués de façon à maintenir une efficacité constante sur une large plage de charges et de tensions du réseau.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un réglage de la durée de chaque signal de puissance, afin d'augmenter cette durée pour compenser une diminution de la vitesse du rotor et afin de diminuer cette durée pour compenser une augmentation de la vitesse du rotor, tout en maintenant la vitesse du rotor constante et indépendante de la charge de la machine.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend la création d'un signal de position quand le rotor se trouve dans une certaine position par rapport à un enroulement conducteur du stator, la création d'impulsions par un générateur d'impulsions, la détermination du retard entre l'apparition du signal de position et de la prochaine impulsion du générateur d'impulsions, et la création d'un signal d'inhibition pour arrêter un signal de puissance appliqué à un enroulement du stator, le signal d'inhibition étant créé pendant une durée égale au retard et précédant le suivant signal de position.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il comprend le réglage de l'amplitude des signaux de puissance, afin d'augmenter l'amplitude quand la durée des signaux de puissance dépasse une valeur prédéterminée et de diminuer l'amplitude quand la durée des signaux de puissance, tombe sous une valeur prédéterminée, tout en maintenant la vitesse du rotor constante et indépendante de la charge de la machine.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la détermination de la position du rotor comprend la création d'un signal de passage à zéro chaque fois que la tension induite par le champ magnétique du rotor dans un enroulement du stator passe par zéro.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend l'ignorance des passages à zéro de la tension aux bornes d'un enroulement du stator dus à la dissipation d'énergie magnétique emmagasinée après la suppression d'un signal de puissance de l'enroulement du stator.

7. Procédé selon les revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'on compte les signaux de passage à zéro par un premier compteur-décompteur, qui compte à une première fréquence à partir de zéro le premier signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs et qui décompte à une deuxième fréquence jusqu'à zéro le deuxième signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs, et en ce que l'on crée une impulsion de zéro lorsque ce premier compteur-décompteur arrive à zéro, en ce que l'on compte les signaux de passage à zéro par un deuxième compteur-décom-

teur, qui compte à la première fréquence à partir de zéro le deuxième signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs et qui décompte à la deuxième fréquence jusqu'à zéro le premier signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs, et en ce que l'on crée une impulsion de zéro lorsque le deuxième compteur-décompteur arrive à zéro, en ce qu'une bascule logique est établie par les impulsions de zéro du premier et du deuxième compteur-décompteur, en ce que des impulsions sont créées par un générateur d'impulsions à une fréquence PXF, telle que P est le nombre des pôles de la machine, X le nombre d'enroulements du stator et F la vitesse choisie pour la machine, en ce qu'une bascule de vitesse est établie par une impulsion du générateur d'impulsions, en ce que à la suite de l'établissement des deux bascules mentionnées, un signal de gradin est créé, en ce que à la suite du signal de gradin, un signal de rétablissement est créé retardé par rapport au signal de gradin afin qu'il rétablisse la bascule logique et la bascule de vitesse, en ce que un troisième compteur compte à partir de zéro à la deuxième fréquence à la suite de l'établissement de la bascule logique, le troisième compteur étant arrêté par l'établissement de la bascule de vitesse, et en ce qu'un signal d'inhibition est créé à la suite des compteurs du troisième compteur et du compteur-décompteur qui décompte, lorsque le compteur-décompteur qui décompte contient un nombre égal au nombre du troisième compteur, en ce que l'on crée une impulsion par un quatrième compteur, compteur modulo N, pour N impulsions à la deuxième fréquence de comptage, N étant le nombre d'impulsions comptées par le troisième compteur, le compteur modulo N étant validé par le signal de gradin et inhibé par une impulsion de passage à zéro apparaissant ensuite, en ce que le nombre d'impulsions créées par le compteur modulo N pendant la période de validation de celui-ci est compté par un cinquième compteur, en ce que l'amplitude des signaux de puissance appliqués aux enroulements du stator est réduite par paliers élémentaires lorsque le cinquième compteur contient une valeur inférieure à une valeur prédéterminée et qui peut être choisie; et en ce que l'amplitude des signaux de puissance appliqués aux enroulements du stator est augmentée par paliers élémentaires lorsque le cinquième compteur contient une valeur supérieure à une valeur prédéterminée et qui peut être choisie, l'amplitude n'étant réduite que si la valeur du cinquième compteur est inférieure à la valeur prédéterminée et qui peut être choisie pendant un nombre prédéterminé de périodes successives de validation du compteur modulo N, et l'amplitude n'étant augmentée que si la valeur du cinquième compteur dépasse la valeur prédéterminée et qui peut être choisie pendant un nombre prédéterminé de périodes successives de validation du compteur modulo N.

8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend la création de signaux de démarrage jusqu'à ce que la tension induite aux enroulements de stator soit détectée.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que les signaux de démarrage sont créés avec une fréquence qui augmente graduellement, commençant par une fréquence initiale prédéterminée.

10. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, comprenant un circuit de commande (33) et un générateur de signaux de puissance (13), caractérisé en ce que le circuit de commande (33) comprend un moyen (16) de détection de position du rotor réagissant aux tensions électriques induites pour créer des signaux de position, et des premiers moyens de commande (14, 15, 17) réagissant aux signaux de position pour commander le générateur de signaux de puissance (13) de façon à appliquer des signaux de puissance aux enroulements de stator dans une séquence prédéterminée quand le rotor se trouve dans une position donnée par rapport aux enroulements conducteurs du stator, les signaux de puissance

étant créés pendant des durées toujours symétriques par rapport au moment où l'angle du couple a une valeur prédéterminée, et étant appliqués de façon à maintenir une efficacité constante sur une large plage de charges et de tensions du réseau.

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que le circuit de commande (33) comprend des deuxièmes moyens de commande (21–25) pour la durée de chaque signal de puissance, afin d'augmenter cette durée pour compenser une diminution de la vitesse du rotor et afin de la diminuer pour compenser une augmentation de la vitesse du rotor, tout en maintenant la vitesse du rotor constante et indépendante de la charge de la machine.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que les deuxièmes moyens de commande (21–25) comprennent un moyen (25) de centrage d'impulsions, commandé par une impulsion d'un générateur d'impulsions et par une impulsion des premiers moyens de commande (14, 15, 17), le moyen de centrage (25) étant disposé à mesurer le retard entre l'apparition de l'impulsion des premiers moyens de commande et de la prochaine impulsion du générateur d'impulsions, le moyen de centrage (25) étant aussi disposé à créer un signal d'inhibition afin d'arrêter un signal de puissance appliqué à un enroulement du stator, ce signal d'inhibition étant créé pendant une durée égale au retard et précédant la suivante impulsion des premiers moyens de commande.

13. Dispositif selon les revendications 10 à 12, caractérisé en ce que le circuit de commande (33) comprend un moyen de commande (26) pour l'amplitude des signaux de puissance, afin d'augmenter cette amplitude quand la durée des signaux de puissance dépasse une valeur prédéterminée et de la diminuer quand la durée des signaux de puissance tombe sous une valeur prédéterminée, tout en maintenant la vitesse du rotor constante et indépendante de la charge de la machine.

14. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que le moyen (16) de détection de position du rotor comprend des détecteurs de passage à zéro (101, 102, 104, 111–115) reliés chacun à un enroulement du stator et créant un signal de passage à zéro chaque fois que la tension induite dans l'enroulement due au champ magnétique du rotor passe par zéro.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que chaque détecteur de passage à zéro comprend un moyen (104) pour ignorer des passages à zéro de la tension aux bornes de l'enroulement auquel il est relié dus à la dissipation d'énergie magnétique emmagasinée quand le signal de puissance n'est plus transmis à cet enroulement.

16. Dispositif selon les revendications 10 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend un premier compteur-décompteur, qui compte à une première fréquence à partir de zéro le premier signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs, et qui décompte à une deuxième fréquence jusqu'à zéro le deuxième signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs, une impulsion de zéro étant créée lorsque le premier compteur-décompteur arrive à zéro, un deuxième compteur-décompteur, qui compte à la première fréquence à partir de zéro le deuxième signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs et qui décompte à la deuxième fréquence jusqu'à zéro le premier signal de chaque groupe de deux signaux de passage à zéro consécutifs, une impulsion de zéro étant créée lorsque le deuxième compteur arrive à zéro, une bascule logique (23) commandée par l'impulsion de zéro du premier ou du deuxième compteur-décompteur, un générateur d'impulsions (21) destiné à créer des impulsions à une fréquence PXF telle que P est le nombre de pôles de la machine, X le nombre d'enroulements du stator et F la vitesse choisie pour la machine, une bascule de vitesse (22) établie par la réception d'une impulsion provenant du générateur d'impulsions, une porte (24) commandée par l'établissement de la bascule logique

(23) et par l'établissement de la bascule de vitesse (22) et créant un signal de gradin, un moyen à retard (136) commandé par le signal de gradin et destiné à créer un signal de rétablissement retardé par rapport au signal de gradin afin qu'il rétablisse la bascule logique (23) et la bascule de vitesse (22), un troisième compteur (138) destiné à compter à partir de zéro à la deuxième fréquence à la suite de l'établissement de la bascule logique (23), le troisième compteur (138) étant arrêté par l'établissement de la bascule de vitesse (22), un circuit de comparaison (140) commandé par le troisième compteur (138) et par le compteur-décompteur (18, 19) qui décompte, et destiné à créer un signal d'inhibition lorsque le compteur-décompteur (18, 19) qui décompte contient un nombre égal au nombre du troisième compteur (138), le signal d'inhibition provoquant l'arrêt du signal de puissance appliqué à un enroulement de stator, un compteur modulo N (148) destiné à créer une impulsion pour N impulsions reçues à la deuxième fréquence, N étant le nombre d'impulsions comptées par le troisième compteur, le compteur modulo N étant validé par le signal de gradin et inhibé par une impulsion de passage à zéro apparaissant ensuite, un cinquième compteur (153) commandé par le compteur modulo N (148) et destiné à compter à partir de zéro le nombre d'impulsions créées par le compteur modulo N (148) pendant la période de validation de celui-ci, un deuxième circuit de comparaison (154, 162) créant un signal de réduction pour réduire par paliers élémentaires l'amplitude des signaux de puissance transmis aux enroulements du stator lorsque le cinquième compteur contient une valeur inférieure à une valeur prédéterminée et qui peut être choisie, et un troisième circuit de comparaison (159, 164) créant un signal d'augmentation pour accroître par paliers élémentaires l'amplitude des signaux de puissance transmis aux enroulements du stator lorsque le cinquième compteur contient une valeur supérieure à une valeur prédéterminée et qui peut être choisie, le deuxième circuit de comparaison (154, 162) ne créant le signal de réduction que lorsque la valeur du cinquième compteur est inférieure à la valeur prédéterminée et qui peut être choisie (155) pendant un nombre prédéterminée (163) de périodes successives de validation du compteur modulo N (148) et le troisième circuit de comparaison (159, 164) ne créant le signal d'augmentation que lorsque la valeur du cinquième compteur (153) dépasse la valeur prédéterminée et qui peut être choisie pendant un nombre prédéterminée (160) de périodes successives de validation du compteur modulo N (148).

17. Dispositif selon les revendications 10 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit de démarrage (40) relié au moyens de commande (14, 15, 17) pour commander le générateur de signaux de puissance (13) à transmettre des signaux de puissance jusqu'à ce que la tension induite dans les enroulements du stator soit détectée par le moyen de détection (16).

La présente invention concerne un procédé pour commander une machine comprenant un stator ayant plusieurs enroulements créant chacun un flux lorsque du courant électrique y circule, un rotor capable de tourner par rapport au stator, et un dispositif destiné à créer un champ magnétique dans le rotor, ce champ magnétique ayant une orientation fixe par rapport au rotor et coopérant avec le flux afin de créer un couple de rotation appliqué au rotor lorsque la disposition de celui-ci par rapport aux enroulements du stator est telle que l'angle moyen du couple est supérieur à zéro, le champ magnétique du rotor induisant une tension électrique dans les enroulements du stator pendant la rotation du stator, et un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

On considère en général que les machines courantes sont de deux types, les machines continues et les machines alternatives. Ces deux types de machines comprennent un dispositif destiné à

créer au moins deux champs magnétiques différents, l'un étant créé dans un rotor et l'autre dans un stator. Lorsque ces champs ne sont pas alignés l'un sur l'autre, il apparaît un couple qui provoque la rotation du rotor.

Lorsque celui-ci tourne, l'orientation de son champ par rapport à celui du stator change. Cependant, lorsque l'orientation change, le couple exercé sur le rotor change aussi si bien que la machine doit comprendre un dispositif permettant la réorientation du premier champ par rapport au second afin que le couple appliqué au rotor soit maintenu à une valeur presque maximale et que la machine ait un fonctionnement efficace.

Dans les machines continues, l'induit du rotor a normalement plusieurs enroulements qui sont reliés à une alimentation externe par des balais et un collecteur mécanique. Celui-ci commande l'application sélective de l'énergie aux enroulements afin que le champ magnétique créé dans le rotor soit en moyenne à 90° du champ du stator créé par les enroulements fixes de celui-ci ou par un aimant permanent. Comme l'angle formé par les champs de l'induit et du stator dans une machine continue est en moyenne égal à 90° , la machine continue est en général très efficace et le couple exercé sur le rotor est maximal. Cependant, la machine continue possède un inconvénient par rapport à la plupart des machines alternatives. Lorsqu'elle est chargée par un dispositif externe monté sur le rotor, la vitesse de rotation de la machine diminue de façon pratiquement linéaire lorsque le couple appliqué augmente. En conséquence, les machines continues ne conviennent pas aux applications nécessitant une vitesse constante, et le tension de ligne et/ou la charge varient à moins qu'une commande auxiliaire de vitesse d'un type quelconque soit utilisée.

D'autre part, les machines synchrones alternatives sont destinées à utiliser l'énergie du courant alternatif pour la synchronisation et l'alimentation de la machine. La fréquence fixe de l'alimentation alternative assure automatiquement la rotation à une vitesse fixe. Lorsque la machine synchrone est chargée, un rapprochement de 90° de l'angle de couple, c'est-à-dire l'angle entre les champs du rotor et du stator est provoqué. De cette manière, le couple appliqué au rotor augmente lorsque la charge appliquée à la machine augmente. En conséquence, une machine alternative synchrone peut conserver une vitesse constante de rotation même lorsque le couple appliqué varie. Le problème posé par ces machines synchrones est qu'elles n'ont pas un rendement constant pour tous les couples appliqués ou ne permettent pas un réglage facile de la vitesse. En fait, la machine alternative synchrone est surtout efficace lorsqu'elle est très chargée car l'angle de couple approche de 90° lorsque la machine est chargée. Lorsqu'elle est moins chargée, l'angle est inférieur à 90° si bien que le rendement diminue. Les machines alternatives synchrones posent aussi des problèmes de démarrage résolus par mise en œuvre de nombreuses techniques connues, parfois peu commodes.

On a mis aussi au point des machines d'autres types. Le moteur continu sans balais n'est que l'un d'entre eux. Ce type de moteur comporte un rotor dans lequel un champ magnétique est créé avec une orientation fixe par rapport au rotor. Un stator comprend de nombreux enroulements et un circuit comprenant un transducteur auxiliaire qui détecte la position du rotor, règle l'intensité du courant dans les enroulements afin qu'ils créent un champ magnétique rotatif qui coopère avec le champ du rotor et provoque ainsi l'application d'un couple à ce dernier. Ces machines sont cependant en général prévues pour la satisfaction de critères très précis et présentent une faible souplesse. Ainsi, le dessin d'une machine donnée ne convient pas obligatoirement à une autre machine, notamment lorsque celle-ci a une dimension différente ou un nombre de pôles différent. Le plus souvent, les machines de ce type comprennent des transducteurs mécaniques pour leur commande; ces transducteurs peuvent présenter

diverses pannes conduisant à un réglage défectueux. Les transducteurs mécaniques ne tiennent pas compte non plus des variations magnétiques dans la machine, donnant une orientation physique quelque peu différente de l'orientation magnétique.

On a aussi mis au point des machines sans transducteur mais qui posent aussi le problème du manque de souplesse des moteurs continus sans balais.

Le but de l'invention est de créer un procédé pour commander une machine de telle façon qu'elle donne une énergie de sortie aussi grande et fonctionne aussi efficacement qu'une machine continue à collecteur; qu'elle puisse fonctionner à une vitesse constante, choisie, sur une large plage de couples et que le dessin de la machine soit pratiquement indépendant de la dimension de la machine, ainsi qu'un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

A cet effet, le procédé de l'invention est caractérisé en ce qu'il détermine la position du rotor en fonction de la tension induite, et en ce que l'on applique des signaux de puissance aux enroulements du stator, suivant une séquence prédéterminée, quand le rotor se trouve dans une position donnée par rapport aux enroulements du stator, les signaux de puissance étant créés pendant des durées toujours symétriques par rapport au moment où l'angle du couple a une valeur prédéterminée, et étant appliqués de façon à maintenir une efficacité constante sur une large plage de charges et de tensions du réseau. Le dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé comprend un circuit de commande et un générateur de signaux de puissance, et est caractérisé en ce que le circuit de commande comprend un moyen de détection de position du rotor réagissant aux tensions électriques induites pour créer des signaux de position, et des premiers moyens de commande réagissant aux signaux de position pour commander le générateur de signaux de puissance de façon à appliquer des signaux de puissance aux enroulements de stator dans une séquence prédéterminée quand le rotor se trouve dans une position donnée par rapport aux enroulements conducteurs du stator, les signaux de puissance étant créés pendant des durées toujours symétriques par rapport au moment où l'angle du couple a une valeur prédéterminée, et étant appliqués de façon à maintenir une efficacité constante sur une large plage de charges et de tensions du réseau.

Plus précisément, l'invention repose sur l'utilisation de la tension induite dans les enroulements du stator d'une machine pour la détermination du moment précis auquel les signaux de puissance doivent être appliqués aux enroulements du stator afin que l'angle moyen de couple soit maintenu constant lorsque la vitesse varie, du fait de la variation de la charge ou de la tension de ligne, ou fonctionne à vitesse constante sur une large plage de couples de la machine. On essaye d'atteindre une commande précise de la fréquence, de la durée de l'amplitude des impulsions de puissance afin que le rendement et la vitesse soient maintenus à des valeurs constantes lorsque le couple de la machine varie ou lorsque la tension de ligne varie.

Dans un mode de réalisation avantageux du dispositif pour la mise en œuvre du procédé de commande susmentionné, le circuit de commande détecte les passages à zéro de la tension induite dans les enroulements du stator. Lorsque le rendement doit être maximal, les signaux de puissance sont créés au moment où l'angle du couple a en moyenne une valeur égale à 90° .

Lorsque la vitesse du rotor dépasse la vitesse choisie, le circuit de commande détecte cette condition et provoque la réduction de la durée des signaux de puissance appliqués aux enroulements du stator si bien que la vitesse du rotor diminue. Lorsque la vitesse du rotor diminue au-dessous de la vitesse choisie, les signaux de puissance appliqués aux enroulements du stator sont élargies par le circuit de commande si bien que la

vitesse du rotor augment. Le raccourcissement ou l'élargissement des signaux compense les variations relativement faibles de vitesse dues à la variation du couple appliqué à la machine. Lorsque le couple varie beaucoup, le circuit de commande crée des signaux qui élèvent ou abaissent l'amplitude des signaux de puissance appliqués aux enroulements du stator. L'augmentation ou la réduction de l'amplitude des signaux de puissance provoque non seulement l'accélération ou le ralentissement du rotor, mais permet aussi le maintien de la largeur des signaux entre des limites choisies. Ces variations de l'amplitude des signaux de puissance provoquent le maintien de l'orientation à vitesse constante pour des variations importantes du couple appliqué.

La machine peut démarrer automatiquement dans le sens voulu de rotation. Un circuit de démarrage automatique crée des signaux de commande du circuit de puissance lorsque le rotor est au repos et aucune tension induite n'est présente dans les enroulements du stator. Deux circuits d'autodémarrage créent directement un champ tournant lentement dans le stator, dans le sens voulu, si bien que le rotor tourne dans le sens voulu. Lorsque la vitesse du rotor suffit à l'induction d'une tension détectable dans les enroulements du stator, le circuit d'autodémarrage est automatiquement arrêté et le circuit de commande assure le réglage du circuit de puissance.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels:

- la figure 1 est un schéma d'une machine bipolaire reliée au dispositif de commande;
- les figures 2a à 2g forment un diagramme des temps représentant des signaux électriques en différents points de la machine;
- la figure 3 est un graphique vitesse-couple d'un exemple de la machine;
- la figure 4 est un diagramme synoptique d'un dispositif selon l'invention;
- la figure 4A est un autre diagramme synoptique illustrant le fonctionnement des éléments principaux;
- la figure 5 est un circuit électrique d'une alimentation de la machine qui donne des tensions différents en fonction de signaux croissants ou décroissants;

La figure 6 est un graphique détaillé représentant la tension aux bornes d'un enroulement du stator lorsque celui-ci passe d'une conduction (excitation) à une non-conducteur (pas d'excitation);

les figures 7 à 11 représentent sous forme détaillée un mode de réalisation du dispositif de commande selon l'invention;

la figure 12 représente schématiquement une machine triphasée à trois fils;

les figures 13a à 13d forment un diagramme des temps pour une machine triphasée à trois fils commandée par le dispositif de commande selon l'invention, la machine fonctionnant sans centrage des impulsions;

la figure 14 est un diagramme synoptique d'un circuit destiné à recevoir des impulsions positives de plusieurs détecteurs de passage à zéro et mettant en œuvre ces impulsions pour la création d'impulsions de commande de compteur-décompteur du circuit de commutation;

la figure 15 est un diagramme synoptique en partie sous forme de circuit électrique d'une variante de circuit de démarrage de la machine, particulièrement utile pour les machines à forte inertie; et

la figure 16 est un diagramme des temps illustrant la mise en œuvre du circuit de la figure 15.

On considère d'abord la machine commandée par le dispositif objet de l'invention en référence au diagramme de la figure 4A. La machine 10 comprend un rotor 11 à aimant permanent

et un stator 12 ayant deux enroulements, indiqués par les bobines A et B. Une alimentation 13 est reliée aux bobines A et B et transmet des impulsions de puissance ayant une amplitude réglable à celles-ci. Un commutateur 14 à gradins est relié à l'alimentation par un circuit porte 15 qui fixe l'enroulement qui reçoit l'énergie électrique à un moment donné. Normalement, le signal d'inhibition transmis à la porte n'est pas présent si bien que le commutateur 14 règle directement l'enroulement auquel est appliquée l'énergie.

Lorsque le rotor 11 de la machine tourne, le champ magnétique du rotor induit une tension dans les enroulements du stator. Des détecteurs 16 de passage à zéro sont reliés aux enroulements du stator et détectent le moment où la tension induite dans l'un ou l'autre enroulement passe à 0 V. A ce moment, une impulsion de position est créée lorsque le rotor a une position prédéterminée qui, pour la machine représentée à deux enroulements de stator, correspond au moment où l'angle de couple est égal à 90°. En d'autres termes, l'impulsion de position est créée lorsque le champ magnétique du rotor est à 90° du champ magnétique de l'enroulement du stator qui reçoit l'énergie.

Comme l'impulsion de position se présente à un moment où l'angle du couple est égal à 90° pour la machine représentée, le procédé met en œuvre la symétrie des impulsions de puissance autour de ce moment de manière que le couple de la machine soit régularisé pour un tour complet du rotor et que le rendement soit maximal.

Les impulsions de position créées à la sortie des détecteurs de passage à zéro parviennent à un circuit 17 de commutation et sont utilisées par deux compteurs 18, 19 qui comptent alternativement à une fréquence $f/2$ pendant la période comprise entre deux impulsions successives de position, et qui décomptent alternativement à une fréquence f . Ces compteurs, lorsqu'ils décomptent à zéro, créent une impulsion de retenue ou une seconde impulsion de position à leur sortie. Comme les compteurs 18, 19, lorsqu'ils progressent, comptent pendant un temps correspondant à la rotation du rotor de 90° pour la machine bipolaire décrite, l'impulsion de retenue est créée à un moment après le début du décomptage par le compteur, correspondant au temps nécessaire à la rotation de 45° après l'apparition d'une impulsion de position. Comme décrit dans la suite, l'impulsion de retenue ou seconde impulsion de position apparaît à un moment auquel l'énergie doit être transmise d'un enroulement du stator à un autre, dans l'hypothèse où l'énergie est appliquée à chaque enroulement de stator pendant le temps nécessaire à la rotation du rotor de 90° à une vitesse choisie.

Le dispositif comprend un oscillateur 21 à fréquence variable créant quatre impulsions uniformément réparties dans la période nécessaire à la rotation du rotor d'un tour complet à la vitesse voulue. Ces impulsions établissent une bascule 22 de vitesse.

Les impulsions de retenue créées par les compteurs 18, 19 établissent une bascule logique les bascules 23. Lorsque les bascules 23 et 22 sont établies, une porte intersection 24 reliée aux sorties des bascules crée un signal de progression du commutateur 14 à gradins si bien que l'énergie n'est plus transmise à un premier enroulement du stator mais est appliquée à l'autre enroulement, suivant la séquence voulue maintenant la rotation du rotor.

En fonctionnement normal de la machine, la bascule 23 est établie avant l'établissement de la bascule 22. Un circuit 25 de centrage d'impulsion est commandé par l'établissement de la bascule logique qui provoque la mise en route d'un compteur qui compte les impulsions à une fréquence f pendant la période comprise entre l'établissement de la bascule logique et celui de la bascule de vitesse. Le nombre compté par le compteur représente le temps de raccourcissement à son bord antérieur

d'une impulsion de puissance appliquée à un enroulement donné du stator, par le circuit décrit précédemment. Le rôle du circuit de centrage d'impulsion est de raccourcir le bord postérieur de la même impulsion de puissance afin que celle-ci soit centrée sur le moment où l'angle moyen de couple a une valeur prédéterminée qui, pour un rendement maximal, correspond à un angle moyen de couple de 90° . Le circuit de centrage d'impulsion compare constamment le nombre dans son compteur à celui du compteur qui décompte à une fréquence f . Lorsque les nombres des deux compteurs sont égaux, un comparateur du circuit de centrage crée un signal d'inhibition qui ferme le circuit porte et provoque ainsi la suppression de la transmission d'énergie de l'alimentation aux enroulements alimentés. Ainsi, le flanc postérieur d'une impulsion de puissance appliquée à un enroulement du stator est raccourci d'une durée qui correspond au retard du flanc antérieur de la même impulsion.

Les spécialistes notent facilement que le circuit décrit jusqu'à présent de façon générale permet la commande du fonctionnement d'une machine afin qu'une vitesse constante déterminée par l'oscillateur 21 et qui peut être choisie soit maintenue même lorsque le couple appliqué au rotor varie, la machine fonctionnant avec un rendement constant qui est avantageusement maximal. En d'autres termes, l'élargissement ou le rétrécissement des impulsions de puissance transmises aux enroulements du stator de la machine permet le maintien de la vitesse du rotor à une valeur constante qui peut être choisie même lorsque le couple appliqué varie. De plus, les impulsions de puissance appliquées aux enroulements du stator sont appliquées symétriquement si bien que l'angle moyen du couple a une valeur qui peut être choisie et qui est avantageusement égale à 90° , si bien que la machine a le rendement maximal.

Le nombre du compteur contenu dans le circuit de centrage d'impulsion, est relié à la largeur des impulsions de puissance transmises par l'alimentation aux enroulements du stator. Lorsque le nombre devient relativement petit, la largeur de l'impulsion est relativement grande et inversement lorsque le nombre est important, la largeur de l'impulsion est relativement faible. Lorsque le couple appliqué au rotor varie, la largeur des impulsions de puissance appliquées à l'enroulement du stator varie aussi et assure le maintien de la vitesse de synchronisme. En général, lorsque le couple appliqué augmente, la largeur des impulsions augmente et inversement, lorsque ce couple diminue, la largeur diminue. On constate cependant que le réglage de la largeur des impulsions dans les machines du type décrit précédemment permet le réglage des conditions de fonctionnement de la machine de manière suffisante pour que les variations relativement petites du couple puissent être compensées. Cependant, lors des variations importantes du couple appliqué ou de la tension de ligne, le réglage de la largeur des impulsions n'assure pas le maintien du fonctionnement synchrone.

Un circuit 26 de réglage d'amplitude maintient le fonctionnement synchrone pour de fortes variations du couple appliqué, et il est commandé par le circuit 25 de centrage. Lorsque la largeur des impulsions dépasse une limite supérieure prédéterminée, le circuit 26 de réglage d'amplitude crée un signal transmis à l'alimentation 13 qui accroît alors l'amplitude des impulsions de puissance appliquées aux enroulements du stator. D'autre part, lorsque la largeur des impulsions tombe au-dessous d'une valeur minimale prédéterminée, le circuit 26 transmet à l'alimentation 13 un signal provoquant la réduction de l'amplitude des impulsions de puissance appliquées aux enroulements du stator. Dans tous les cas, la variation de l'amplitude de l'impulsion intervenant aux enroulements coopère avec le circuit d'élargissement et de rétrécissement des impulsions pour le maintien du fonctionnement synchrone même pour des variations importantes du couple appliqué.

La description qui suit montre que les principes généraux d'application de l'invention, décrits précédemment, s'appliquent également aux machines comportant trois enroulements de stator ou phases, ou plus. En fait, l'invention s'applique aux machines de toute dimension ayant un nombre quelconque de phases ou d'enroulements de stator.

On se réfère maintenant à la figure 1 qui représente une machine 10 comprenant un rotor et un stator schématiquement indiqués par les références 11 et 12. Le rotor 11 est du type à champ fixe et comporte un dispositif associé destiné à créer un ou plusieurs champs magnétiques d'orientation et de direction fixes par rapport au rotor 11 comme indiqué par la flèche 30. Le sens du champ du rotor est aligné de façon générale perpendiculairement à l'axe de rotation de celui-ci qui, pour la machine représentée schématiquement sur la figure 1, est perpendiculaire au plan de la figure. Dans certaines machines cependant, le champ du rotor peut être différent de celui qu'on a représenté sur la figure 1; par exemple, dans les machines ayant des rotors multipolaires ou autres, le champ du rotor n'est pas aligné perpendiculairement à l'axe de rotation.

Le dispositif qui crée le champ du rotor peut être un aimant permanent monté sur le rotor lui-même. Dans une variante, ce champ peut être créé par des enroulements de rotor dans lesquels circule du courant et qui créent le champ voulu ayant une orientation fixe par rapport au rotor lorsque le courant circule. Les enroulements du rotor sont reliés électriquement par une bague collectrice et une connexion à balais analogue à une source externe d'énergie électrique. Une autre possibilité de création du champ magnétique dans le rotor 11 comprend l'induction externe du champ magnétique par un dispositif convenable.

Comme dans le cas de la plupart des machines, le stator 12 comprend plusieurs enroulements repérés schématiquement par les références 31 et 32 et qu'on a appelés bobines A et B précédemment. Chaque enroulement 31, 32 comprend plusieurs spires d'un fil métallique conducteur de l'électricité et isolé, enroulées de manière connue dans la technique des machines électriques. Lorsque le courant circule dans l'un des enroulements 31, 32, un champ magnétique est créé avec une direction perpendiculaire à l'axe de rotation du rotor 11. Tant que la direction du champ créée par le courant circulant dans l'un des enroulements 31, 32 n'est pas la même que celle du champ magnétique du rotor 11, un couple est appliqué à ce dernier qui peut tourner librement si bien qu'il tourne autour de son axe de rotation.

Le couple appliqué au rotor 11 est fonction de l'angle de couple, c'est-à-dire de l'angle formé par les directions des champs du stator et du rotor. Lorsque le flux du stator est constant et l'angle de couple est égal à 90° , la force exercée sur le rotor est maximale. Lorsque l'angle du couple est nul, la force est nulle. Dans le cas de la machine de la figure 1, lorsqu'un courant passe dans l'enroulement 31 et crée un champ magnétique représentée de façon générale par la flèche OA, le rotor 11 subit une force qui le fait tourner dans le sens horaire. Lorsque le rotor 11 tourne dans ce sens depuis la position représentée, la force appliquée sur lui devient cependant de plus en plus faible, lorsqu'il tourne vers une position dans laquelle le champ du rotor s'aligne sur le champ du stator. L'énergie doit être alors transmise à l'enroulement 32 afin que la rotation se poursuive. Ainsi, un type quelconque de commutation de champ est nécessaire afin que la rotation du rotor 11 soit entretenue.

La commutation du champ du stator est assurée par commande séquentielle de la circulation du courant dans les enroulements 31 et 32. Un circuit de commande portant la référence 33 sur la figure 1, est commandé par la tension induite par le champ mobile du rotor dans les enroulements 31, 32 et commande le circuit 13 d'alimentation qui crée des impulsions

parvenant aux enroulements 31, 32 suivant une séquence prédéterminée, à une fréquence qui peut être choisie et qui est prédéterminée afin que la rotation du rotor 11 se maintienne à vitesse constante même lorsque le couple appliqué varie.

La séquence prédéterminée voulue des impulsions de puissance assurant la rotation dans le sens horaire du rotor 11 est schématiquement représentée sur les figures 2a à 2c. Les zones rectangulaires 34, 35, 36 et 37 représentent chacune le temps pendant lequel des impulsions électriques d'amplitude fixe sont appliquées à un enroulement de stator. La zone 34 par exemple correspond au moment où une tension $+V$ est appliquée à l'enroulement 31. La zone 36 d'autre part correspond au moment où une tension $-V$ est appliquée au même enroulement 31. De manière analogue, la zone 35 correspond au moment où une impulsion de tension $+V$ est appliquée à l'enroulement 32. La zone 37 correspond au moment où une impulsion de tension $-V$ est appliquée à l'enroulement 32.

La séquence et la durée d'application des impulsions aux enroulements 31, 32 comme représenté sur les figures 2a à 2c, sont importantes pour la détermination du sens de rotation et du rendement de la machine. Cependant, la compréhension complète de cette caractéristique nécessite la compréhension du fonctionnement de base de la machine. La position du rotor, représentée sur la figure 1, est considérée arbitrairement comme la position 90° . Dans cette position, la direction du champ du rotor, comme indiqué par la flèche 30, est à 90° par rapport à la direction du champ créé dans la bobine 31 lorsque le courant circule dans celle-ci. De plus, lorsque le rotor est dans la position 90° , le couple qu'il subit du fait de la circulation du courant dans la bobine A, est maximal. Les bobines A et B doivent être alimentées pendant des périodes au cours desquelles l'angle moyen du couple est égal à 90° afin que le rendement de la machine soit maximal. Par exemple, l'énergie doit être transmise à la bobine A lorsque le rotor 11 tourne de la position dans laquelle la direction est à 45° dans le sens antihoraire vers une position dans laquelle ce champ est à 45° dans le sens horaire par rapport à la position représentée pour le rotor 11 sur la figure 1. Ainsi, l'angle moyen du couple, lorsque l'énergie est appliquée à la bobine A pendant la période au cours de laquelle le rotor passe d'une position à 45° dans le sens antihoraire par rapport à la position de la figure 1 jusqu'à une position placée à 45° dans le sens horaire par rapport à la position de la figure 1, est égal à 90° et la machine a son fonctionnement le plus efficace dans ces conditions. La largeur des impulsions de puissance transmises aux enroulements peut varier mais, dans la mesure où les flancs antérieur et postérieur de l'impulsion sont commandés symétriquement afin que l'impulsion soit centrée sur la position 90° comme représenté, l'angle moyen est égal à 90° si bien que le rendement est maximal.

Lorsque le rotor 11 tourne de 45° dans le sens horaire depuis la position de la figure 1 vers la position 135° comme représenté par la convention établie sur la figure 2b, l'angle formé par le champ du rotor et le champ créé par le courant de la bobine A est égale à 45° . Pour cette position, le couple appliqué au rotor 11, du fait de la circulation d'un courant dans la bobine A, est notablement réduit par rapport à celui qui correspond à la position 90° . En conséquence, il est souhaitable que le courant ne circule plus dans la bobine A mais circule dans la bobine B. Le circuit 33 de commande assure cette commutation par détection de la position du rotor 11 par rapport au stator fixe comme décrit en détail dans la suite, puis par transmission de signaux de commande au circuit 13 de puissance lorsque le rotor 11 atteint la position voulue pour la commutation de l'énergie d'un enroulement à un autre. En conséquence, lorsque le rotor atteint la position 135° , le circuit 13 de puissance commute l'énergie de la bobine A à la bobine B. Cette variation d'alimentation est représenté sur les figures 2a-2c

pour la position 135° pour laquelle l'impulsion 34 disparaît et l'impulsion 35 apparaît.

La bobine B reste alimentée lorsque le rotor passe de sa position 135° à sa position 225° . Lorsqu'il a atteint cette dernière position, l'énergie doit à nouveau être transmise à la bobine A, bien que le champ créé par celle-ci doit avoir un sens opposé à celui qui est créé par l'impulsion représentée par la zone 34 sur la figure 2a, lorsque la rotation doit être entretenue. Cette impulsion de puissance est représentée par la zone 36 qui crée un champ magnétique, dans la bobine A, dont le sens est opposé à celui qui est créé par l'impulsion 34. Le circuit 33 de commande assure l'application de cette impulsion 36 à la bobine A pendant le temps nécessaire au rotor 11 pour passer de la position 225° à la position 315° . Lorsque le rotor 11 atteint la position 315° , le circuit 33 cesse d'alimenter la bobine A et alimente à nouveau la bobine B comme indiqué par la zone 37 de la figure 2c. L'énergie parvient à cette bobine B pendant le temps nécessaire à la rotation du rotor 11 de la position 315° à la position 45° .

Le circuit 33 de commande provoque la production par le circuit 13 d'impulsions de puissance repérées par les zones rectangulaires 34, 35, 36 et 37, dans la séquence représentée, et tant que cette séquence se maintient, le rotor tourne sans arrêt. De plus, comme indiqué clairement dans la suite, le circuit 33 peut choisir la vitesse maximale du moteur par réglage de la fréquence maximale de création des impulsions.

La machine décrite précédemment a, au cours du mode de fonctionnement considéré, une courbe caractéristique vitesse-tension du type représenté sur la figure 3. La vitesse de la machine de la figure 1, en l'absence de charge appliquée, est indiqué sur la figure 3 par la référence 38. Cette vitesse sans charge est déterminée par la fréquence maximale permise aux impulsions de puissance appliquées aux enroulements 31 et 31. Plus la fréquence des impulsions de puissance est élevée et plus la vitesse sans charge est élevée et inversement.

Cependant, lorsqu'une charge est appliquée, la vitesse de rotation ne tombe pas au-dessous de la vitesse sans charge, comme indiqué par la référence 38, tant que la charge appliquée n'a pas dépassé la valeur T_m , c'est-à-dire la charge pour laquelle la machine ne peut plus fonctionner de façon synchrone. Lorsque la charge dépasse la valeur T_m , la vitesse de rotation diminue comme dans le cas d'une machine continue lorsque la charge augmente.

La description qui précède correspond au fonctionnement très général de la machine schématiquement représentée sur la figure 1. Cette description indique que l'énergie est appliquée à chaque enroulement du stator pendant une période qui correspond à une rotation de 90° du rotor 11. En réalité, dans la machine avantageuse représentée sur la figure 1, l'énergie est transmise aux enroulements 31 et 32 pendant une période inférieure à celle qui est représentée sur la figure 2 lorsque le couple appliqué à la machine est inférieur au couple maximal T_m représenté sur la figure 3.

Dans un mode de réalisation avantageux, le circuit 33 de commande transmet l'énergie aux enroulements du stator pendant des périodes variables, centrée avantageusement sur la position 90° , en fonction du couple appliqué lui-même. Par exemple, lorsqu'un couple augmente, la vitesse instantanée du rotor tend à diminuer. Le circuit 33 de commande détecte cette condition et élargit alors les impulsions de puissance transmises aux enroulements du stator. Lorsque le couple appliqué diminue, la vitesse instantanée de la machine tend à augmenter si bien que le circuit 33 réduit la largeur des impulsions de puissance et maintient un angle moyen de couple égal à 90° et une vitesse constante.

Le circuit 33 de commande maintient aussi le rendement de la machine à une valeur constante. L'opération est réalisée par

centrage de toutes les impulsions de puissance, élargies ou rétrécies, sur le moment où l'angle moyen du couple a une valeur constante. Le rendement est maximal lorsque les impulsions sont centrées afin que l'angle moyen soit égal à 90° . Les impulsions sont centrées sur un angle inférieur à 90° lorsque le rendement est plus faible.

Bien que le circuit 33 de commande puisse faire varier la largeur des impulsions sur une large plage, il est souhaitable que cette largeur ne devienne pas trop faible car de faibles largeurs d'impulsions provoquent la création d'un couple moteur très irrégulier à chaque tour du rotor. Il est ainsi souhaitable que la largeur minimale d'impulsions soit choisie arbitrairement à 65° , c'est-à-dire au temps nécessaire à la rotation de 65° du rotor à la vitesse choisie, comme représenté en A sur la figure 2a. De plus, pour des raisons indiquées dans la suite, il est souhaitable que la largeur de l'impulsion de puissance soit au maximum égale à 85° , c'est-à-dire au temps correspondant à la rotation de 85° du rotor à la vitesse choisie, comme représenté par B sur la figure 2a. Les limites indiquées cependant sont choisies arbitrairement et d'autres limites conviennent sans que le fonctionnement de la machine soit perturbé. Une fois établies ces limites, le degré de compensation de la variation des couples appliqués par élargissement et rétrécissement des impulsions est réduit.

Comme il est souhaitable que la machine tourne à vitesse constante même lorsque le couple appliqué varie beaucoup et comme l'élargissement et le rétrécissement des impulsions permettent la compensation des petites variations seulement du couple appliqué étant donné que la largeur d'impulsion ne peut pas varier beaucoup et ne fait varier l'énergie que d'une quantité limitée, le circuit 13 de puissance commandé par le circuit 33 fait varier l'amplitude de la tension des impulsions de puissance transmises aux enroulements du stator afin que les variations importantes du couple appliqué puissent être compensées. Par exemple, lorsque le circuit 33 détermine que la durée de l'impulsion de puissance dépasse 85° , c'est-à-dire le temps nécessaire à la rotation du rotor de 85° à la vitesse choisie, cette condition est détectée par le circuit 33 qui la notifie au circuit 13 de puissance. Ce dernier accroît en conséquence par paliers la tension de l'impulsion appliquée aux enroulements du stator. Cette augmentation par paliers de la tension augmente le couple créé et compense donc l'augmentation du couple appliqué à la machine. D'autres part, si le circuit 33 détermine que la durée de l'impulsion est inférieure à 65° , c'est-à-dire au temps nécessaire pour que le rotor tourne de 65° à la vitesse choisie, le circuit 13 réduit par paliers la tension de l'impulsion de puissance transmise aux enroulements. En conséquence, le couple créé est réduit et compense la réduction du couple appliqué, et l'angle de couple est maintenu en moyenne à 90° à la vitesse constante choisie. Comme le circuit 13 peut faire varier par paliers la tension appliquée aux enroulements 31 et 32 sur une large plage, le couple créé peut beaucoup varier lors de la compensation des fluctuations importantes du couple appliqué, lorsque la machine tourne à vitesse constante choisie. Ainsi, la machine peut fonctionner à une vitesse constante qui est choisie lorsque le couple appliqué varie sur une large plage.

La figure 4 est un diagramme synoptique d'un dispositif selon l'invention comprenant le circuit 33 de commande et le circuit 13 de puissance, décrits de façon générale en référence aux figures 1 et 4A, permettant la commande d'une machine du type représenté sur la figure 1.

Le dispositif comprend un circuit 40 de démarrage, le commutateur électronique 14 à gradins, l'alimentation de puissance 13, le détecteur 16 de passage à zéro, le circuit 17 de commutation, le circuit 25 de centrage d'impulsions et le circuit 26 de réglage d'amplitude. Ces éléments sont décrits en détail dans la suite.

On considère d'abord le circuit de démarrage. Ce circuit 40 est destiné à commander la rotation de la machine dans le sens voulu lors de la mise sous tension. Le circuit 40 comprend un générateur d'impulsions, par exemple une horloge monostable qui crée une impulsion unique à la sortie 41. Cette impulsion parvient à une entrée d'une porte réunion 42. L'impulsion passe dans cette porte et parvient à l'entrée du commutateur électronique 14 à gradins, et à une entrée du circuit 40 lui-même, par l'intermédiaire d'un fil 43 rétablissement. L'impulsion du fil 43 rétablit le circuit 40 par arrêt par exemple de l'horloge monostable. Celle-ci commence alors un autre cycle de comptage et transmet une autre impulsion après une période prédéterminée. De cette manière, le circuit 40, en combinaison avec la porte 42, crée une série des impulsions à l'entrée du commutateur 14. La fréquence des impulsions peut être choisie et elle peut varier d'une machine à une autre mais elle est par exemple de l'ordre de 100 impulsions par seconde pour les petites machines et moins pour les machines plus grandes.

Le circuit de démarrage peut être modifié afin qu'il transmette des impulsions de démarrage à une fréquence variable. La transmission d'impulsions de démarrage d'abord à faible fréquence puis à une fréquence croissant progressivement permet le démarrage plus facile des machines à fort moment d'inertie par rapport au démarrage assuré par un circuit qui crée des impulsions à fréquence fixe. Un oscillateur à fréquence variable peut transmettre initialement des impulsions à faible fréquence, celle-ci croissant progressivement jusqu'à ce que la vitesse du rotor suffise à l'induction d'une tension détectable dans les enroulements du stator. Une fois que le fonctionnement normal du circuit a commencé, le circuit de démarrage est constamment rétabli par le circuit normal d'impulsion.

La figure 15 représente une variante de circuit de démarrage. Celui-ci crée une série d'impulsions à son point 44 de sortie d'abord à une faible fréquence puis à une fréquence croissant progressivement comme indiqué par le diagramme des temps de la figure 16. Après seize périodes, le processus se répète.

Le circuit de la figure 15 est relié comme représenté au circuit réel de la figure 8, mais la résistance 45 de $82\text{ k}\Omega$ du circuit de démarrage de la figure 8 doit être supprimée afin que les impulsions ne puissent pas être créées mais que chaque impulsion de DD permette la création d'une impulsion AD. Ainsi, le circuit de commande est inhibé jusqu'à ce que les compteurs-décompteurs créent des impulsions de retenue indiquant que le rotor tourne suffisamment vite pour que le circuit de commande joue son rôle.

Il existe d'autres procédés de création d'impulsions de démarrage dont la fréquence varie. Les impulsions de démarrage sont créées par tout générateur convenable qui crée des impulsions à une fréquence variable et qui est relié au point 44 de la figure 15. Le circuit de démarrage est inhibé lorsque des impulsions de retenue, appelées aussi secondes impulsions de position, sont créées par les compteurs-décompteurs.

On considère maintenant le commutateur électronique à gradins 14 qui est simplement un circuit de comptage ou analogique qui commande sélectivement une sortie 47, 48, 49 ou 50 en fonction d'une impulsion d'entrée reçue à partir de la porte réunion 42. Dans un ensemble avantageux, le commutateur 14 commande d'abord la sortie 44 en fonction d'une première impulsion reçue à partir de la porte 42. Les impulsions successives reçues depuis la porte 42 commandent les sorties 48, 49 et 50 successivement. Les impulsions suivantes de la porte 42 provoquent la commande des sorties 47, 48, 49 et 50 du commutateur 14 de manière répétitive. La commande des sorties 47 à 50 successivement assure comme décrit dans la suite, la rotation dans un sens du rotor d'une machine du type représenté sur la figure 1.

Un commutateur 51 inverse la séquence de fonctionnement du commutateur 14 c'est-à-dire l'ordre de commande des sorties 47, 48, 49 et 50. Lorsque le commutateur 51 est ouvert comme représenté sur la figure 4, la séquence de sortie est comme décrit précédemment. Cependant, lorsque le commutateur 51 est fermé, la séquence est inversée. Ainsi, les sorties sont commandées en sens inverse si bien que la séquence s'effectue dans l'ordre 50, 49, 48, 47. Cette séquence provoque la rotation en sens inverse du rotor de la machine, par rapport à la séquence décrite précédemment, pour des raisons indiquées dans la suite et parce que l'énergie est appliquée aux enroulements du rotor dans l'ordre inverse de celui qu'on a décrit précédemment.

Chaque sortie 47 à 50 est reliée à une entrée d'une porte intersection 52, 53, 54 ou 55 du circuit porte 15. La seconde entrée de chacune des portes 52 à 55 est reliée à un fil commune 56 d'inhibition. Le signal présent normalement dans le fil 56 laisse normalement la détermination de la porte 52, 53, 54 ou 55 qui transmet un signal aux signaux des fils 47 à 50. Un signal d'inhibition du fil 56 désactive toutes les portes 52 à 55 si bien qu'aucune de celles-ci n'est active. Le signal d'inhibition du fil 56 est créé comme décrit en détail dans la suite.

On considère maintenant l'alimentation en énergie de la machine. Les portes 52 à 55 du circuit 15 créent chacune des signaux de commande aux sorties 58, 59, 60 et 61, ces signaux commandant l'alimentation 13. Celle-ci a des sorties appelées $+V'$ bobine A, masse, bobine B et $-V'$. Les signaux $+V'$ et $-V'$ sont des tensions de référence utilisées par le détecteur 16 comme décrit en détail dans la suite. La sortie de masse est une connexion de masse. Les deux autres sorties sont reliées chacune à une extrémité d'une bobine A ou B de la machine schématiquement représenté sur la figure 1. L'autre extrémité des bobines A et B est reliée à la masse.

L'enroulement du stator auquel l'énergie peut être appliquée est commandé par les signaux des fils 58 à 61 parvenant au circuit 13. Lorsqu'un signal de commande existe dans la ligne 58, l'alimentation 13 transmet une tension positive à la sortie reliée à la bobine A. Lorsqu'un signal de commande est transmis par la ligne 59, l'alimentation 13 transmet une tension positive dans la ligne reliée à la bobine B. De manière analogue, lorsqu'un signal de commande existe dans la ligne 60, l'alimentation 13 transmet une tension négative à la ligne reliée à la bobine A. En outre, lorsqu'un signal de commande existe dans la ligne 61, l'alimentation 13 transmet une tension négative à la ligne reliée à la bobine B. Toutes les tensions appliquées aux bobines A et B par l'alimentation 13 ont une amplitude supérieure à V' volt.

Le circuit 13 peut être formé par toute alimentation classique pouvant créer un signal de sortie et ayant une valeur positive et négative et suffisant pour la commande de la machine qui est reliée. L'alimentation doit aussi créer des tensions de référence $+V'$ et $-V'$ ayant chacune une amplitude inférieure à celle du signal de puissance créé par le circuit 13. Un mécanisme de commutation est incorporé au circuit 13 et est commandé par les signaux parvenant par les fils 58 à 61 afin que les signaux de puissance soient appliqués aux fils reliés aux bobines A et B en fonction du signal de commande présent à l'entrée. Ce mécanisme de commutation peut être un relais ou un circuit électronique de commutation commandé par les signaux des fils 58 à 61.

Le circuit de la figure 5 représente une configuration possible d'alimentation remplissant les fonctions indiquées précédemment en référence au circuit 13. Le circuit de la figure 5 comprend deux transformateurs identiques de puissance 64-65 ayant des secondaires 66 et 67 munis de plusieurs prises, chaque prise d'une secondaire correspondant à une même tension que la prise correspondante de l'autre secondaire. De plus, la différence de tensions entre deux prises adjacentes de chaque trans-

formateur 64, 65 est de préférence toujours la même si bien que la tension peut croître par paliers à la sortie de l'alimentation. L'une des prises, 68, ou 69 par exemple, est utilisée pour la transmission d'une tension de référence dans le détecteur 16 aux points $+V'$ et $-V'$ de la figure 7. La prise 68 est reliée à un circuit redresseur et de filtrage représenté par la référence 71 et transmettant le signal $+V'$ de l'alimentation 13. La prise 69 est reliée à un circuit redresseur et de filtrage 72 qui transmet la tension de référence $-V'$. Les prises restantes à des transformateurs 64 et 65 sont reliées à un commutateur à gradins, 73, 74 respectivement, commandés tous deux par un même dispositif 75 de mise en action. Les commutateurs 73 et 74 à gradins sont reliés électriquement chacun à une prise de sortie du transformateur 64, 65 respectivement, afin que les tensions mesurées entre la prise et la masse soient les mêmes pour les deux commutateurs 73, 74. Le dispositif 75 est commandé lorsqu'il reçoit des impulsions à l'entrée d'avance ou de retrait afin qu'il déplace simultanément les commutateurs 73 et 74 dans le sens horaire ou antihoraire. La rotation dans le sens horaire des commutateurs 73 et 74 accroît par paliers la tension aux points 76 et 77 de sortie alors que la rotation dans le sens antihoraire réduit par paliers la tension à ces points 76 et 77. Les commutateurs 73, 74 doivent comporter une butée mécanique empêchant la rotation dans un sens ou dans l'autre au-delà des prises de tension extrêmes de transformateurs 64, 65.

Le point 76 du commutateur 73 est relié à un circuit redresseur et de filtrage 78 qui transmet une tension continue positive. Le point 77 du commutateur 74 est relié à un circuit 79 redresseur et de filtrage qui crée une tension continue négative à sa sortie. Le signal positif du circuit 78 est transmis au bras mobile des relais K1 et K2. Le signal négatif du circuit 79 est relié au bras mobile des relais K3 et K4. Chaque relais K1, K2, K3, K4 est du type unipolaire à une direction qui a un contact normalement ouvert. Le contact de sortie des relais K1 et K3 est relié à la sortie de la bobine A alors que le contact de sortie des relais K2 et K4 est relié à la sortie de la bobine B. Les relais K1 à K4 sont commandés par les impulsions des lignes 58 à 61, provenant des portes 52 et 55 du circuit 15 de la figure 4. En conséquence, les signaux des lignes 58 à 61 relient les bobines A et B à la tension positive ou négative créée par l'alimentation, comme décrit précédemment.

Bien que la description qui précède concerne un mode de réalisation particulier d'alimentation 13 et notamment le circuit de la figure 5, les spécialistes peuvent noter que le circuit peut subir de nombreuses modifications, sans que sa fonction soit différente. Il est notamment évident que les fonctions de commutation mises en œuvre par les commutateurs mécaniques dans le circuit de la figure 5 peuvent être facilement remplacées par un circuit électronique donnant le même résultat. De plus, un autre circuit peut être utilisé pour la réalisation d'une alimentation ayant des tensions différentes qui peuvent être choisies. Par exemple, on peut utiliser une machine tournante ou des régulateurs magnétiques, électroniques ou mécaniques. Un tel régulateur est un régulateur de commutation. La brochure «Designing Switching Regulators» mars 1969, the National Semiconductor Company décrit des régulateurs de commutation convenant à l'alimentation 13 du dispositif selon l'invention. Un autre exemple est une alimentation simple ayant des commutateurs convenable inversant le courant dans les enroulements de la machine. Une alimentation simple munie d'une commutation convenable peut aussi alimenter les enroulements de la machine lorsque la circulation du courant est unidirectionnelle.

On considère maintenant le circuit de commande 33 qui, comme décrit précédemment, comprend quatre sous-ensembles séparés et connectés représentés sur la figure 4, le détecteur 16 de passage à zéro, le circuit 17 de commutation, le circuit 25 de centrage d'impulsion et le circuit 26 de commande d'amplitude.

En résumé, le détecteur 16 est commandé par la tension induite dans les enroulements du stator et crée des impulsions indiquant le moment où la tension induite dans l'enroulement a une tension nulle. Les indications de passage à zéro sont réalisées, comme décrit dans la suite, au moment où le rotor et le stator ont une disposition relative précise. Les indications de passage à zéro sont utilisées par le circuit 17 de commutation qui crée des impulsions transmises par un fil 86 qui rejoint la seconde entrée de la porte réunion 42. Les signaux transmis par ce fil 86 font avancer le commutateur 14 comme décrit précédemment pour les impulsions reçues par le fil 41 provenant du circuit 40 de démarrage. Ces impulsions reçues par le fil 86 assurent aussi le rétablissement du circuit 40. En conséquence, lorsque des impulsions existent dans le fil 36, chacune d'elles rétablit le circuit 40 et empêche la création d'impulsions de démarrage, et assure aussi l'avance du commutateur 14 à chaque fois qu'une impulsion apparaît dans le fil 86.

Le circuit 17 de commutation crée aussi des signaux de commande parvenant au circuit 25 de centrage. Celui-ci crée en conséquence, au moment convenable, le signal d'inhibition cité précédemment et qui est transmis par le fil 56 d'inhibition afin qu'il empêche la création d'un signal actif à l'une quelconque des sorties des portes intersection 52 à 55. Comme indiqué clairement dans la suite, ce signal d'inhibition du fil 56 centre les impulsions de puissance appliquées aux enroulements du stator sur le moment où le rotor a une position prédéterminée. Les impulsions sont avantageusement centrées sur le moment où l'angle du couple est égal à 90° environ afin que le rendement soit maximal.

Le circuit 26 de réglage d'amplitude est commandé par le détecteur 16 et les circuits 17 et 25, et il crée des impulsions parvenant à l'alimentation 13 par les fils 87, 88 d'avance et de retrait respectivement. Les impulsions créées par le circuit 26 accroissent ou diminuent la tension des impulsions appliquées par l'alimentation 13 aux enroulements du stator.

On considère maintenant le détecteur de passage à zéro. Au point 89, le signal de l'alimentation 13 parvient à la bobine A 31 qui est un enroulement du stator d'une machine du type général représenté sur la figure 1. Le signal de l'alimentation 13 parvient à la bobine B 32 par le point 90.

Le détecteur 16 de passage à zéro est aussi relié aux points 89 et 90 afin que les tensions induites dans les bobines 31 et 32 puissent être détectées et qu'un signal de passage à zéro, créé à la sortie, indique la détection du passage à zéro de la tension induite. Cette détection, dans un enroulement de stator non-alimenté, n'est pas simple cependant étant donné que, lorsqu'un enroulement est commuté d'un état conducteur ou alimenté à un état non-conducteur ou non-alimenté, la dissipation d'énergie conservée dans le champ magnétique provoque deux passages à zéro de la tension aux bornes de l'enroulement. En conséquence, le détecteur 16 doit faire la différence entre un passage à zéro de la tension induite et un passage à zéro associé à la dissipation de l'énergie conservée dans un enroulement de stator lorsque celui-ci est commuté de l'état alimenté à l'état non-alimenté.

Comme représenté sur les figures 2a à 2c, les zones 34 à 37 représentent les périodes pendant lesquelles les impulsions de puissance sont appliquées à l'une des bobines A et B. Dans ces périodes dans lesquelles une impulsion de puissance est appliquée, le mouvement du rotor provoque l'induction d'une tension dans les enroulements non-alimentés. Par exemple, entre les zones 34 et 36, une tension induite apparaît aux bornes de la bobine 31, comme indiqué par le trait mixte 91. Un passage à zéro de cette tension induite apparaît à la position 180° du rotor. Lorsque le détecteur 16 note cette condition, un signal de passage à zéro est transmis au circuit 17 et indique la détection d'un passage à zéro de la tension induite dans la bobine 31.

Lorsque le rotor atteint sa position 0 ou 360° , le détecteur 16 transmet aussi un signal de passage à zéro au circuit 17, indiquant qu'un tel passage a été détecté pour la tension induite dans la bobine 31.

Le détecteur 16 est relié à la bobine 32 et il crée un signal de passage à zéro à la sortie lorsque le rotor se trouve à 90° et 270° , c'est-à-dire lorsque la tension induite dans la bobine 32 passe à zéro.

Comme indiqué précédemment, le problème de la détection des passages à zéro de la tension indiquée dans les enroulements du stator est difficile étant donné l'existence des passages à zéro de la tension apparaissant aux bornes d'un enroulement à la suite de la dissipation de l'énergie emmagasinée dans le champ. La figure 6 représente une forme d'onde représentative de la tension aux bornes d'un enroulement, lors du passage de l'état alimenté à l'état non-alimenté. Lorsqu'un enroulement donné est alimenté par un signal de tension positive $+V$ supérieure à la tension $+V'$ de référence, de l'énergie est conservée dans le champ créé. Lors de la suppression de l'alimentation de l'enroulement comme indiqué en 94, la tension apparaissant aux bornes de l'enroulement tombe très rapidement et passe à zéro comme indiqué en 95 puis prend une grande valeur négative. Comme représenté sur la figure 4 cependant, des diodes Zener Z et des diodes D sont montées entre les points 89 et 90 et les points de l'alimentation à V et $-V$. Cette disposition de diodes D et Z limite la tension maximale en sens inverse aux bornes d'un enroulement donné afin que les circuits reliés ne soient pas détériorés. Plus précisément, la tension de claquage des diodes Z dans le mode de réalisation avantageux considéré, est égale à 3 fois l'amplitude de la tension $+V$. Ainsi, la tension négative maximale créée aux bornes d'un enroulement, comme indiqué sur la figure 6, est égale à $-4V$ comme indiqué par la référence 96. Lorsque l'énergie conservée est dissipée, la tension aux bornes de l'enroulement reste à $-4V$ jusqu'à ce que la totalité de l'énergie emmagasiné ait été dissipée partiellement. La tension aux bornes d'un enroulement croît alors très rapidement et passe à zéro une seconde fois comme indiqué en 97, et elle atteint une valeur maximale au point 98, la tension aux bornes de l'enroulement étant alors égale à la tension induite dans celui-ci. Ensuite, lorsque le rotor continue à tourner, la tension induite apparaît aux bornes de l'enroulement non-alimenté. Le détecteur 16 doit être sensible au passage à zéro de la tension induite comme représenté par la référence 99, afin qu'il transmette un signal de passage à zéro à sa sortie, au moment où l'angle du couple est égal à 80° pour l'enroulement alimenté. Chaque signal de passage à zéro est utilisé par le circuit 17 de commutation pour la création d'impulsions au moment où l'énergie doit être commutée d'un enroulement à un autre.

On se réfère maintenant à la figure 4 qui représente le détecteur de passage à zéro, compris dans le cadre 16 en trait interrompu, qui comprend en fait un circuit détecteur relié à chacune des bobines A 31 et B 32. Le détecteur de passage à zéro de la bobine A est destiné à détecter le passage à zéro de la tension induite apparaissant au point 89. De manière analogue, le détecteur de la bobine B est destiné à détecter le passage à zéro de la tension induite dans la bobine B au point 90.

Le détecteur de passage à zéro de la bobine A comprend deux amplificateurs différentiels idéaux 101 et 102, l'entrée moins de l'amplificateur 101 et l'entrée plus de l'amplificateur 102 étant reliés au point 89. L'entrée positive de l'amplificateur 101 est reliée au signal de l'alimentation 13 et l'entrée négative de l'amplificateur 102 à la sortie $-V$ de l'alimentation 13. L'amplificateur 101 est échantillonné par un signal provenant d'un fil 61 et qui est positif chaque fois qu'une impulsion de puissance négative est appliquée à la bobine B. L'amplificateur 102 est échantillonné chaque fois qu'un signal apparaît dans le fil 59 qui indique qu'une impulsion positive de puissance est

appliquée à la bobine B. Ainsi, chaque fois que le fil 61 est positif, l'amplificateur 101 transmet une tension positive lorsque la tension aux bornes de la bobine A est inférieure à $+V$ volt. De manière analogue, l'amplificateur 102 crée chaque fois que le fil 59 transmet un signal positif, une tension positive lorsque la tension aux bornes de la bobine A est supérieure à $-V$ volt.

Les signaux des amplificateurs 101 et 102 parviennent à un fil 103. Suivant que l'échantillonnage est assuré par le fil 59 ou 61, la tension dans le fil 103 est positive lorsque la tension aux bornes de la bobine A est supérieure à $-V$ volt et inférieure à $+V$ volt respectivement. Il faut se rappeler de la description de la figure 6, que la tension aux bornes de la bobine A tombe dans la plage dans laquelle les amplificateurs différentiels 101 et 102 créent un signal positif lorsque la bobine A passe de l'état alimenté à l'état non-alimenté, mais cette période est courte. Ainsi, un circuit de retard peut éliminer les effets de passages à zéro associés à la commutation de la tension appliquée à la bobine A. Un circuit de retard est représenté dans le rectangle 104 en trait interrompu. Un tel circuit crée une tension positive de sortie lorsqu'une tension positive par rapport à $-V$ est présente dans le fil 103 pendant une période prédéterminée. Ce circuit de retard peut comprendre une ligne 105 à retard dont l'entrée est reliée au fil 103 et dont la sortie est reliée à une première entrée d'une porte intersection 106. Une seconde entrée de cette dernière est directement reliée au fil 103 si bien que le signal de sortie de la porte 106 n'est positif que lorsque les signaux d'entrée sont positifs. Le circuit 105 retarde l'apparition d'une tension positive à sa sortie pendant 70 microsecondes suivant le passage de son entrée à l'état positif. Ainsi, le signal transmis par la porte 106 n'est positif que lorsqu'une tension positive est présente dans la ligne 103 pendant plus de 70 microsecondes.

Bien que la description qui précède concerne un mode de réalisation du circuit représenté dans le rectangle 104, un second mode de réalisation de cette fonction est représenté dans le cadre 107 en trait interrompu de la figure 7. Les spécialistes peuvent noter que le circuit contenu dans ce rectangle 107 peut être remplacé par de nombreux autres circuits possibles ayant le même rôle.

Bien qu'on ait indiqué que le circuit 104 créait une tension positive à sa sortie lorsqu'une tension positive par rapport à $-V$ existait dans le fil 103 pendant plus de 70 microsecondes, la période exacte de retard nécessaire avant passage du signal à une valeur positive diffère d'une machine à une autre, c'est la valeur choisie dépend du temps de montée et de descente associé à la dissipation de l'énergie emmagasinée dans un enroulement de stator qui a été commuté de l'état alimenté à l'état non-alimenté. Plus précisément, comme représenté sur la figure 6, le circuit 104 ne crée pas une tension positive à sa sortie au cours de la période dans laquelle la tension aux bornes d'un enroulement passe dans une région indiquée par la référence 108. Lorsqu'une tension positive doit apparaître à la sortie du circuit 104 pendant cette période, un passage à zéro erroné est indiqué. En conséquence, dans le cas du circuit de la figure 4, la ligne 105 à retard doit avoir un retard supérieur au temps nécessaire au passage de la tension aux bornes de l'enroulement du point 94 à une valeur inférieure à $-V$ volt. Dans d'autres circuits, un retard analogue doit être obtenu afin que la dissipation de l'énergie emmagasinée ne donne pas de fausses indications de passage à zéro.

Comme représenté sur la figure 4, le signal du circuit 104 est transmis à une entrée des portes intersection 111 et 112. Comme indiqué précédemment, la tension dans cette ligne est positive chaque fois que le signal apparaissant dans le fil 103 a été positif lui-même pendant une période supérieure au retard prédéterminé dans la ligne 105 à retard. Le second signal reçu par la porte 111 est celui de la ligne 61 alors que celui que reçoit

la porte 112 est celui de la ligne 59. Cette dernière est positive lorsqu'une impulsion positive est appliquée à la bobine B, et la ligne 61 est positive lorsqu'une impulsion négative est appliquée à la bobine B. La dernière entrée de la porte 111 est reliée à la sortie d'un circuit 113 d'inversion. Le signal de sortie de celui-ci est positif chaque fois que la tension induite dans la bobine A est aussi positive. L'autre entrée de la porte 112 d'autre part est reliée à la sortie d'un circuit 114 d'inversion dont le signal de sortie est positif chaque fois que la tension apparaissant aux bornes de la bobine A est négative. En conséquence, le signal transmis par la porte 111 est positif lorsque la tension induite aux bornes de la bobine A est positive, la ligne 61 est positive, indiquant qu'une impulsion négative de puissance est appliquée à la bobine B, et la tension induite dans la bobine A a été inférieure à $+V$ pendant un temps supérieur au retard imposé par la ligne 105. Cette condition existe juste après passage à zéro volt de la tension induite dans la bobine A, vers une valeur positive. De manière analogue, le signal de la porte 112 est positif chaque fois que la tension induite dans la bobine A est négative, que le signal dans le fil 59 est positif et indique qu'une impulsion positive de puissance est appliquée à la bobine B, et que la tension induite dans la bobine A a été supérieure à $-V$ volt pendant une période supérieure au retard imposé par la ligne 105. Cette condition se présente juste après passage à zéro volt vers les valeurs négatives de la tension induite dans la bobine A.

Lorsque le signal d'une porte 111 ou 112 est positif, le signal de la porte réunion 115 devient positif et transmet un signal de passage à zéro provenant du détecteur 16 dans un fil 116. Celui-ci est relié à l'entrée d'établissement d'une bascule 117 et à l'entrée de rétablissement d'une bascule 118 du circuit 17 de commutation.

Le détecteur de passage à zéro de la bobine B est un circuit sensiblement identique à celui du détecteur de passage à zéro de la bobine A à une exception près. Le détecteur de la bobine B comprend deux amplificateurs différentiels 120 et 121 dont les signaux d'échantillonnage sont transmis autrement que dans le cas du détecteur de la bobine A. Plus précisément, le signal d'entrée d'échantillonnage des amplificateurs 120 et 121 provient des fils 58, 60 respectivement, pour la rotation de la machine dans un sens, le sens avant. Cependant, en sens inverse, les signaux des amplificateurs 120 et 121 sont inversés. Ainsi, la borne d'échantillonnage de l'amplificateur 120 est reliée au fil 60 alors que celle de l'amplificateur 121 est reliée au fil 58. Cette connexion en sens inverse peut être réalisée très simplement à l'aide d'un commutateur bipolaire à deux directions (non représenté) destiné à jouer ce rôle.

Le signal de sortie du détecteur de passage à zéro de la bobine B paraît dans un fil 122 de sortie qui est relié à l'entrée de rétablissement de la bascule 117 et à l'entrée d'établissement de la bascule 118 du circuit 17.

En résumé, chaque détecteur de passage à zéro crée une impulsion de sortie appelée impulsion de position dans le présent mémoire. Cette impulsion de position est créée par chaque détecteur de passage à zéro lorsque le champ du rotor est aligné sur l'axe magnétique de l'enroulement du stator pour lequel la tension induite passe à zéro. Dans la machine décrite précédemment et comportant deux enroulements de stator, l'impulsion de position est créée lorsque l'angle de couple est égal à 90° pour l'enroulement alimenté. Ainsi, une impulsion de position est créée quatre fois pour chaque tour du rotor dans les machines à deux enroulements de stator du type représenté, lorsque la position du rotor par rapport au stator est connue et correspond au point médian ou de symétrie de l'impulsion de puissance appliquée au moment de la création de l'impulsion de position.

Les spécialistes peuvent noter que la force contre-électromotrice, pour des tensions autres que 0 V, peut être utilisée

aussi pour la détermination de la position du rotor. Un tel procédé comprend la détection du moment où les forces contre-électromotrices des deux enroulements ont la même amplitude et qui correspond à une position du rotor telle que 135° dans une machine biphasee.

Bien que la description précédente concerne un capteur d'une machine biphasee et bipolaire, permettant la détection de la position du rotor quatre fois à chaque tour de celui-ci, le capteur de position peut être modifié afin qu'il détecte la position à d'autres moments, par exemple une fois par tour. Une telle variante cependant nécessite des modifications au reste de l'ensemble.

Le circuit décrit jusqu'à présent peut aussi être utilisé dans les machines ayant plus de deux pôles, sans modification.

On considère maintenant le circuit de commutation. Comme indiqué précédemment de façon générale, le circuit 17 de commutation crée des impulsions de commande du moment où les impulsions de puissance sont appliquées aux enroulements du stator. Le circuit 17 comprend les bascules 117 et 118. La première est établie est la seconde rétablie chaque fois qu'un passage à zéro est détecté pour la tension induite dans la bobine A. De manière analogue, la bascule 118 est établie et la bascule 117 rétablie chaque fois qu'un passage à zéro est détecté pour la tension induite dans la bobine B. Comme indiqué clairement dans la suite, l'établissement et le rétablissement des bascules 117 et 118 provoquent la commande de compteurs-décompteurs 18 et 19 du circuit 17, comme décrit en détail dans la suite.

Le circuit 17 de commutation comprend un générateur 123 de signaux rectangulaires transmettant des impulsions de fréquence f . Bien que cette fréquence f ne soit pas primordiale, elle est égale à 500 000 Hz dans un mode de réalisation avantageux. Les impulsions du générateur 123 sont utilisées directement par les circuits 17, 25 et 26 de commutation, de centrage et de réglage d'amplitude. Le signal du générateur 123 parvient aussi à une bascule 124 qui transmet une onde rectangulaire de fréquence $f/2$. Ce signal rectangulaire de fréquence $f/2$ est aussi directement utilisé par le circuit 17.

Le signal de sortie de la bascule 117 est transmis à une première entrée d'une porte intersection 125 et à une première entrée d'une seconde porte intersection 126. La seconde entrée de la porte 125 est reliée à la sortie de la bascule 124 si bien que le signal de la porte 125 est sous forme d'une série d'impulsions à une fréquence $f/2$ chaque fois que la bascule 117 est établie. L'autre entrée de la porte 126 est reliée à la sortie du générateur 123 si bien que le signal de sortie de la porte 126 est sous forme d'une série d'impulsions de fréquence f chaque fois que la bascule 117 est établie.

Le signal de sortie de la bascule 118 est relié à une première entrée d'une porte intersection 127 et aussi à une première entrée d'une autre porte intersection 128. La seconde entrée de la porte 127 est reliée à la sortie du générateur 123 si bien que cette porte 127 transmet une série d'impulsions à une fréquence f chaque fois que la bascule 118 est établie. La seconde entrée de la porte 128 est reliée à la sortie de la bascule 124 si bien que cette porte 128 transmet une série d'impulsions à une fréquence $f/2$ chaque fois que la bascule 118 est établie.

Le circuit 17 de commutation comprend deux compteurs-décompteurs 18 et 19. Chacun de ceux-ci comprend une entrée d'avance et une entrée de retrait, ou de progression et de régression respectivement, les compteurs progressant lorsque les impulsions sont transmises à l'entrée d'avance et régressant lorsque les impulsions sont transmises à l'entrée de retrait. De plus, chaque compteur 18, 19 a une sortie 130, 131 respectivement de retenue, créant chacune une impulsion de retenue chaque fois que le compteur 18 ou 19 passe à zéro et prend une valeur négative. Chaque signal 130, 131 de retenue parvient à une entrée d'une porte réunion 132 qui transmet une impulsion

de retenue de l'une de ces lignes d'entrée à sa sortie. Le signal de la porte 132 parvient à l'entrée d'établissement de la bascule logique 23. Le rôle de celle-ci apparaît clairement dans la suite.

Chaque compteur-décompteur 18, 19 a un circuit de commande qui empêche le comptage continu en sens négatif. En conséquence, chaque fois que l'un des compteurs 18 ou 19 commence à compter car il reçoit des impulsions à son entrée de progression, le compteur commence toujours à compter vers le haut à partir d'une valeur nulle.

L'entrée de progression au compteur 18 est reliée à la sortie de la porte 125 alors que son entrée de régression est reliée à la sortie de la porte 127. Le compteur 18 en conséquence compte à une fréquence $f/2$ chaque fois que la bascule 117 est établie.

D'autre part, le compteur 18 décompte à une fréquence f chaque fois que la bascule 118 est établie. En outre, le compteur 19 a son entrée de progression reliée à la sortie de la porte 128 et son entrée de régression à la sortie de la porte 126. En conséquence, le compteur 19 compte à une fréquence $f/2$ lorsque la bascule 118 est établie et décompte à une fréquence f chaque fois que la bascule 117 est établie.

Le rôle des compteurs, 18, 19 est que chacun d'eux, lorsqu'il progresse, compte pendant un temps qui correspond au temps qu'il faut en réalité au rotor pour tourner de 90° . D'autre part, comme les compteurs 18 et 19, lorsqu'ils décomptent, régressent à une fréquence double de leur fréquence de progression, créent une impulsion de retenue ou seconde impulsion de position à un moment qui correspond à la rotation de 45° du rotor au-delà du point où un passage à zéro de la tension induite dans un enroulement a été détecté. Ainsi, chaque fois qu'une impulsion de retenue est créée, elle indique que le rotor est disposé de manière que l'énergie doive être commutée d'un enroulement de stator à un autre, suivant la séquence établie par le commutateur électronique 14, lorsque chaque enroulement est alimenté pendant un temps égal au temps nécessaire à la rotation du rotor de 90° . Lors de l'élargissement ou du rétrécissement des impulsions, la commutation des impulsions de puissance est réalisée à un autre moment, comme décrit en détail dans la suite.

Le diagramme des temps des figures 2d à 2g représente les moments où les compteurs 18 et 19 comptent et décomptent. Les figures 2d à 2g représentent respectivement le comptage et le décomptage du compteur 18 et du compteur 19, par rapport aux impulsions de puissance et aux tensions induites dans les bobines 31 et 32.

Le circuit 17 de commutation comprend aussi l'oscillateur 21 qui crée les impulsions à une fréquence choisie à sa sortie. Les impulsions de sortie de l'oscillateur 21 parviennent par un fil 133 à l'entrée d'établissement d'une bascule de vitesse 22. L'oscillateur 21 crée des impulsions à fréquence qui peut être choisie mais cependant, la fréquence de la machine de la figure 1, pour ces impulsions, est telle que quatre impulsions régulièrement réparties pendant le temps pendant lequel le rotor fait un tour complet à la vitesse choisie de rotation.

Le signal de sortie de la bascule logique 23 est transmis par un fil 134 à une première entrée d'une porte intersection 24. La seconde entrée de celle-ci est reliée à la sortie de la bascule 22. Lorsque les deux bascules 23 et 22 sont établies, les conditions convenables à l'entrée de la porte 24 sont satisfaites si bien qu'une tension positive apparaît à la sortie 135. Celle-ci est reliée par le fil 86 à une première entrée de la porte réunion 42. En conséquence, lorsqu'une tension positive apparaît à la sortie de la porte intersection 24, le commutateur 14 avance et provoque la commande d'un enroulement différent de stator par l'alimentation 13.

Comme les deux bascules 23 et 22 doivent être établies avant création d'une tension positive dans le fil 86, pour l'avance du commutateur 14, la bascule 23 peut en réalité être

établie avant l'établissement de la bascule 22 ou inversement. La bascule 23 est normalement établie avant la bascule 22, lorsque la machine fonctionne de façon synchrone à la vitesse choisie par l'oscillateur 21. En conséquence, lorsqu'un point de commutation est indiqué par l'établissement de la bascule 23, la commutation réelle du commutateur à gradins est retardée jusqu'à l'établissement de la bascule 22. Ainsi, le flanc antérieur de l'impulsion de puissance appliquée à un enroulement est retardé d'un temps correspondant au retard entre les établissements des bascules 23 et 22. Ce retard varie avec le couple appliqué à la machine et on le décrit en détail en référence au circuit 25 de centrage des impulsions.

Lorsque la bascule 22 commence à être établie avant l'établissement de la bascule 23, la vitesse de la machine est inférieure à la vitesse choisie, imposée par l'oscillateur 21. Ainsi, dès que le rotor atteint la position de commutation de l'énergie d'un enroulement à un autre, la bascule 23 est établie comme décrit précédemment, et le commutateur 14 progresse et change l'enroulement qui reçoit une impulsion de puissance.

Les entrées de rétablissement des bascules 22 et 23 sont reliées l'une à l'autre et à la sortie d'une ligne 136 à retard. L'entrée de celle-ci est reliée à la sortie de la porte 24 si bien que, chaque fois que l'une des bascules 22, 23 est établie, les bascules sont automatiquement rétablies après un temps égal au retard de la ligne 136, suivant le passage aux valeurs positives du signal de sortie de la porte 24. Ainsi, lorsque les deux bascules 22 et 23 sont établies, elles sont automatiquement rétablies à un moment ultérieur prédéterminé. Le retard de la ligne 136 est avantageusement de 20 microsecondes, mais un retard plus ou moins long peut être utilisé suivant la vitesse des autres circuits reliés à la sortie de la porte 24.

Bien qu'on ait décrit une ligne à retard 136, tout autre circuit convenable, par exemple un étaleur d'impulsions introduisant un retard entre la réception du signal et la création du signal de sortie, convient aussi. Les spécialistes peuvent aussi noter que d'autres circuits conviennent pour le rétablissement des bascules 23 et 22 dans la mesure où l'impulsion qui apparaît à la sortie de la porte 24 a une durée suffisante pour qu'elle fasse progresser le commutateur 14.

En résumé, le détecteur de passage à zéro de la tension induite dans la bobine 31 crée une impulsion qui provoque le comptage à une fréquence $f/2$ par le compteur 18. Celui-ci continue à progresser à cette fréquence jusqu'à ce que le détecteur de passage à zéro relié à la bobine 32 détecte le passage à zéro de la tension induite dans cette bobine. A ce moment, le nombre conservé dans le compteur 18 est représentatif du temps nécessaire à la rotation de 90° du rotor. De plus, lorsque le passage à zéro est détecté dans la bobine B, le rotor est disposé afin que l'angle du couple, entre le champ du rotor et celui du stator créée par la bobine A, soit exactement égal à 90° . En conséquence, le rotor ne doit pas tourner de plus de 45° avant que l'énergie soit commutée de la bobine 31A à la bobine 32B.

Lorsque un passage à zéro de la tension induite est détecté dans la bobine 32, le compteur 18 commence immédiatement à décompter à la fréquence f , et le compteur crée une impulsion de retenue ou seconde impulsion de position lorsque son nombre atteint zéro. Comme le compteur 18 décompte à une fréquence double de la fréquence de comptage, il atteint zéro en un temps qui correspond à une rotation de 45° du rotor après le début du comptage. Ainsi, lorsque l'impulsion de retenue est créée à la sortie du compteur 18, le rotor est exactement dans la position dans laquelle l'angle du couple est égal à 45° , et l'énergie doit être commutée de la bobine A à la bobine B.

Le compteur 19 a un fonctionnement analogue à celui du compteur 18 pour la création d'impulsions de retenue à la sortie, lorsque l'énergie doit être commutée de la bobine 32 à la bobine

31. Ainsi, l'impulsion provenant du compteur 19 est créée lorsque l'angle du couple est égal à 45° .

On considère maintenant le circuit de centrage d'impulsion 25 dont le fonctionnement assure l'application des impulsions de puissance à un enroulement donné de stator à des moments toujours symétriques par rapport au moment où l'angle du couple a une valeur prédéterminée. Ainsi, pour une machine ayant un angle moyen de couple de valeur voulue, par exemple 90° , les impulsions de puissance appliquées aux enroulements doivent être centrées dans le temps sur le moment où l'angle du couple est égal à 90° . Les impulsions de puissance peuvent être transmises aux enroulements lorsque l'angle du couple est différent de 90° et le rendement de la machine n'est pas maximal.

Le circuit 25 centre les impulsions de puissance transmises aux enroulements de la manière suivante. De façon générale, le circuit 25 détecte le temps qui s'écoule entre le point de déclenchement à 45° et le déclenchement réel de l'impulsion, et il raccourcit l'impulsion à son flanc postérieur de la même période. Plus précisément, lorsque la bascule 23 est établie, c'est-à-dire lorsque le rotor est dans la position 45° , une tension positive indiquant que la bascule logique est établie est transmise par un fil 137 à l'entrée de mise en route d'un compteur 138. Ce signal met en route le compteur 138 qui compte les impulsions du fil 149 provenant du générateur 123 d'ondes rectangulaires ayant une fréquence f . Le compteur 138 progresse à une fréquence f jusqu'à l'établissement de la bascule 22. Lorsque celle-ci est établie, une tension positive est transmise par un fil 139 à l'entrée d'arrêt du compteur 138 si bien que celui cesse de compter. Le nombre conservé dans le compteur 138, après l'arrêt, est une mesure du temps qui s'est écoulé entre les établissements des bascules 23 et 22. Ainsi, le compteur 138 comprend un nombre représentatif du retard de l'application de l'impulsion de puissance puisque la bascule 23 est établie avant la bascule 22. En d'autres termes, le compteur 138 conserve un nombre indiquant le raccourcissement du flanc antérieur de l'impulsion, à la suite du fonctionnement du circuit 17 de commutation.

L'information conservée dans le compteur 138 raccourcit le flanc postérieur de l'impulsion de puissance transmise à un enroulement de stator. Ce raccourcissement du flanc postérieur de l'impulsion est réalisé par un circuit 140 de comparaison. Le nombre du compteur 138 est transmis au circuit 140 par des câbles 142. Les données du compteur 138 sont comparées par le circuit 140 avec la valeur contenue dans l'un des compteurs 18, 19 suivant le compteur qui décompte. Chaque position de bit des compteurs 18, 19 est reliée à une première entrée d'une porte intersection 143, 144. La seconde entrée de la porte 143 est reliée à la sortie de la bascule 118 qui indique que le compteur 18 décompte. La seconde entrée de la porte 144 est reliée à la sortie de la bascule 117 qui indique que le compteur 19 décompte. La sortie de chacune des portes 143, 144 est reliée à une première entrée d'une porte réunion 145 dont la sortie est alors reliée à l'entrée du circuit 140.

Le circuit 140 de comparaison détermine le moment où la valeur conservée dans le compteur 18 ou 19 qui décompte est égale à la valeur conservée dans le compteur 138. Ainsi, chaque fois que le compteur 18 ou 19 qui décompte atteint une valeur identique à celle qui est conservée dans le compteur 138, le circuit 140 crée un signal d'inhibition qui parvient par le fil 56 à une première entrée de chacune des portes intersection 52 à 55. L'impulsion d'inhibition du fil 56 reste présente jusqu'à la création d'une impulsion dans le fil 86, indiquant qu'une impulsion de puissance doit être appliquée à l'enroulement suivant de stator, dans la séquence commandée par le commutateur 14. En conséquence, le fonctionnement du circuit 25 provoque la création d'un signal d'inhibition dans le fil 56 au moment précis où l'impulsion de puissance appliquée à un enroulement donné est

symétrique par rapport au moment où l'angle du couple, pour l'enroulement de stator qui est alimenté, est en moyenne égal à une valeur prédéterminée qui, pour le circuit considéré, est un angle de 90°.

En résumé, le circuit 25 de centrage et le circuit 17 de commutation coopèrent à l'élargissement ou au rétrécissement des impulsions de puissance appliquées aux enroulements. Les impulsions sont élargies lorsque le couple appliqué augmente et rétrécies lorsque ce couple diminue. La vitesse de la machine reste cependant à la vitesse choisie imposée par le réglage de l'oscillateur 21 et l'angle moyen du couple reste constant.

On considère maintenant le circuit 26 de commande de l'amplitude de la tension de l'alimentation 13, représenté sur la figure 4. Le circuit 26 crée des signaux à ses sorties de progression ou de régression afin que l'amplitude de l'impulsion augmente ou diminue, à la sortie de l'alimentation 13. Comme indiqué précédemment, l'augmentation ou la réduction de l'amplitude des impulsions de puissance appliquées aux enroulements permet le fonctionnement de la machine à une vitesse constante et avec un rendement prédéterminé même lorsque le couple appliqué varie beaucoup.

Le circuit 26 de commande ou de réglage de tension, comprend un compteur modulo N 148 qui crée une impulsion unique à sa sortie chaque fois que son entrée a reçu N impulsions. La valeur conservée dans le compteur 138 est transmise par le câble 142 à plusieurs fils au compteur 148. Cette valeur conservée forme le signal d'entrée N du compteur modulo N 148. Une seconde entrée de ce compteur 148 reçoit le signal rectangulaire de la ligne 149, provenant du générateur 123. Le compteur 148 ne fonctionne cependant que lorsqu'il reçoit un signal de validation à son entrée correspondante. Le signal de validation est présent à partir du moment où un enroulement est mis à l'état alimenté, c'est-à-dire que du courant circule dans cet enroulement, jusqu'au passage suivant noté par le détecteur de passage à zéro. Le signal de validation est créé par une bascule 150 de validation. Celle-ci est établie chaque fois qu'une impulsion apparaît dans le fil 86, c'est-à-dire lorsque le circuit 17 détermine que l'énergie doit être commutée d'un enroulement à un autre. La bascule 150 est rétablie chaque fois que le passage suivant à zéro est noté par le détecteur 16. Les fils 116 et 122 transmettent les signaux d'entrée à une porte réunion 151 dont la sortie est reliée à l'entrée de rétablissement de la bascule 150. Ainsi, cette dernière est rétablie lorsqu'un passage à zéro est détecté, comme indiqué par une tension positive dans l'un des fils 116 ou 122.

Lorsqu'il est validé, le compteur 148 crée comme indiqué précédemment, une impulsion à sa sortie 152 pour N impulsions reçues à partir du générateur 123. Chaque impulsion de sortie transmise par le fil 142 est comptée par un compteur 153 représenté sur la figure 4 par le compteur K5. Ainsi, le compteur 153 conserve un nombre après l'arrêt du compteur 148, ce nombre indiquant la largeur des impulsions de puissance appliquées aux enroulements. Par exemple, lorsque la valeur conservée dans le compteur 153 est élevée, elle indique que le nombre conservé dans le compteur 138 est faible est en conséquence, le retard de mise sous tension, c'est-à-dire le retard compris entre les établissements des bascules 23 et 22, est faible. Ainsi, chaque impulsion de puissance appliquée à un enroulement a une longue durée et approche de la période imposée pour la rotation du rotor de 90°. Dans ces conditions, la machine fonctionne avec un couple appliqué relativement élevé et les impulsions de puissance sont larges et empêchent le ralentissement.

D'autre part, lorsque la valeur du compteur 153 est faible, elle indique que le nombre conservé par le compteur 138 est très élevé et que les impulsions de puissance appliquées aux enroulements sont relativement courtes. Dans ces conditions, la machine fonctionne avec un couple appliqué relativement fai-

ble, et les impulsions de puissance sont courtes afin qu'elles empêchent une accélération.

Comme indiqué précédemment, le rôle du circuit 26 est de faire varier par paliers élémentaires l'amplitude des impulsions appliquées aux enroulements afin que ces impulsions varient en fonction du couple appliqué et maintiennent une vitesse constante pour l'angle de couple choisi. La variation de l'amplitude des impulsions de puissance permet aussi le fonctionnement de la machine avec des impulsions dont la durée est proche du temps nécessaire à la rotation de 90° du rotor à la vitesse choisie, si bien que le couple créé au cours de chaque tour du rotor est régularisé. A cet effet, la valeur conservée dans le compteur 153 à la fin de la période de comptage, c'est-à-dire lorsque la bascule 150 de validation est rétablie, est comparée à une faible valeur préréglée par un circuit 154 de comparaison. Lorsque la valeur conservée dans le compteur 153 est inférieure à une valeur prédéterminée établie dans le circuit 154 par des commutateurs mécaniques ou analogues comme indiqué de façon générale par la ligne 155 d'entrée, le circuit 154 crée un signal à sa sortie 156 pour indiquer que la valeur du compteur 153 est inférieure à la valeur prédéterminée. Ce signal indique que la largeur de l'impulsion de puissance appliquée à un enroulement est inférieure à une valeur voulue prédéterminée.

Le nombre conservé dans le compteur 153 est aussi transmis par un fil 158 à un second circuit 159 de comparaison. Celui-ci reçoit à partir de commutateurs préréglés ou analogues, comme indiqué par la ligne 160 d'entrée, un nombre indiquant la valeur élevée ou supérieure acceptable pour le nombre conservé dans le compteur 153 pendant la période au cours de laquelle la bascule 150 est établie. Lorsque le nombre réel conservé dans le compteur 153 au cours de la période de validation est supérieur à la valeur supérieure acceptable, le circuit 159 crée à sa sortie 161 une impulsion qui indique que la valeur du compteur 153 a dépassé la valeur supérieure acceptable. Cette condition indique que la largeur des impulsions du signal de puissance, appliquées à un enroulement de stator, est supérieure à la valeur voulue.

Lorsque le signal de sortie du circuit 154 de comparaison indique que le compteur 153 a une valeur inférieure à une limite inférieure préréglée, cette condition indique que l'énergie transmise à un enroulement donné doit être réduite. Ainsi, ce signal peut être utilisé directement par l'alimentation de la machine pour la réduction de la tension appliquée à chacun des enroulements. Cependant, afin que l'alimentation 13 de la machine ne fasse pas des recherches inutiles, c'est-à-dire ne provoque pas des variations superflues de la tension, un compteur 162 de comparaison compte le nombre des impulsions qui indiquent une demande de réduction de tension, provenant du circuit 154. Lorsque le compteur 162 de comparaison reçoit un nombre prédéterminé d'impulsions de demande de réduction de tension, comme indiqué dans une ligne 163 préréglée par des commutateurs ou analogues non représentés, après des périodes successives pendant lesquelles la bascule 150 est établie, le compteur 162 crée à sa sortie 88 une impulsion qui indique que la tension de l'alimentation 13 doit être réduite. Cette impulsion est transmise à l'entrée de réduction de l'alimentation 13 qui fonctionne comme décrit précédemment et réduit d'une valeur élémentaire la tension des impulsions de puissance appliquées aux enroulements.

Lorsque le circuit 159 de comparaison crée à sa sortie 161 une impulsion, celle-ci indique que la valeur conservée dans le compteur 153 dans la période au cours de laquelle la bascule 150 a été établie, a dépassé une valeur élevée prédéterminée, fixée par des commutateurs préréglés ou analogues, comme indiqué de façon générale par la ligne 160 d'entrée. L'impulsion créée à la sortie 161 indique que les impulsions de puissance appliquées aux enroulements du stator sont larges et qu'elles dépassent la largeur maximale prédéterminée voulue. En consé-

quence, l'amplitude des impulsions de puissance appliquées aux enroulements doit être accrue. Un compteur 164 de comparaison compte les demandes successives d'augmentation d'amplitude reçues par la ligne 161 et, lorsque le nombre de ces demandes successives, c'est-à-dire créées par le circuit 159 de comparaison après des périodes successives pendant lesquelles la bascule 150 est établie, dépasse la valeur préréglée indiquée par l'entrée 163 de nombre préréglé, le compteur 164 crée dans le fil 87 une impulsion qui est transmise à l'entrée de progression de l'alimentation 13. Cette impulsion fonctionne comme décrit précédemment pour l'augmentation par paliers élémentaires de l'amplitude des impulsions de puissance transmises aux enroulements de stator par l'alimentation 13.

Comme indiqué précédemment, le compteur 154 de comparaison crée par son fil 156 de sortie une impulsion lorsque la valeur conservée dans le compteur 153 est inférieure à la valeur préréglée par l'entrée 155. Le compteur 154 crée aussi dans le fil 167 de sortie une impulsion lorsque la valeur conservée par le compteur 153 est égale ou supérieure à la valeur préréglée de l'entrée 155. Les impulsions du fil 167 sont utilisées pour la remise à zéro du compteur 162. En conséquence, celui-ci crée à sa sortie 88 une impulsion uniquement lorsqu'un nombre consécutif préréglé d'impulsions, déterminé par l'entrée 163, apparaît dans le fil 156. De cette manière, il apparaît un retard avant le changement de l'amplitude des impulsions de puissance afin que les variations transitoires de courte durée du circuit ne provoquent pas le fonctionnement du circuit de changement d'amplitude.

De manière analogue, le compteur 159 de comparaison crée par son fil 161 de sortie des impulsions indiquant si la valeur conservée dans le compteur 153 supérieure à la valeur supérieure préréglée à l'entrée 160. Lorsque le compteur 153 a une valeur inférieure à la valeur supérieure 160, le compteur 159 crée dans le fil 168 une impulsion qui est reliée à l'entrée de remise à zéro du compteur 164. En conséquence, des demandes d'augmentation de l'amplitude des impulsions de puissance ne sont pas transmises par le fil 87 tant qu'un nombre prédéterminé en 163 de telles demandes consécutives n'a pas été créé dans le fil 161.

En résumé, le circuit 26 de réglage de tension accroît ou diminue l'amplitude des impulsions de puissance en fonction d'augmentations ou de réductions importantes du couple appliqué ou de changements de la tension de ligne afin que le fonctionnement synchrone soit maintenu à vitesse qui peut être choisie et pour un angle moyen choisi du couple.

La description qui précède d'un mode de réalisation avantageux concerne plus précisément le diagramme synoptique de la figure 4A. Le rôle de chaque élément représenté sur ce diagramme a été bien expliqué et, dans de nombreux cas, on a décrit des circuits particuliers destinés à la mise en œuvre de ces fonctions. Pour les circuits qu'on a pas décrits plus précisément, les fonctions correspondantes peuvent être mises en œuvre de façon très différente et bien connue des spécialistes. La réalisation exacte, dans le mode de réalisation avantageux du dispositif de commande de l'invention, est représentée sur les figures 7 à 11. Sur celles-ci, le dispositif comprend des éléments particuliers correspondant à l'exemple de machine décrit précédemment. Les seules modifications qui peuvent être nécessaires pour l'adaptation des circuits représentés à une application donnée sont l'incorporation d'un circuit de décalage du niveau de tension afin que l'ensemble puisse être utilisé avec une machine dont les enroulements de stator sont alimentés par des signaux ayant des tensions différentes de celles pour lesquelles le circuit est prévu.

On considère maintenant d'autres configurations de machines. Bien que la description qui précède concerne plus précisément une machine ayant deux enroulements de stator, c'est-à-

dire une machine biphasée comme représenté schématiquement sur la figure 1, l'invention s'applique à des machines ayant d'autres configurations d'enroulements de stator. Par exemple, des machines triphasées à quatre fils du type représenté sur la figure 12 peuvent aussi être commandées par un dispositif du type décrit précédemment, bien que des modifications mineures soient nécessaires étant donné que la machine comprend trois enroulements de stator et non pas deux.

La machine représentée sur la figure 12 est du type triphasé à quatre fils comprenant trois enroulements de stator appelés bobine A, bobine B et bobine C. Ces bobines font partie du stator comme indiqué par la référence 176, et sont disposées afin que l'axe de chaque champ magnétique fasse un angle de 120° avec l'axe du champ créé par les deux autres enroulements. Le rotor, représenté de façon générale par la référence 177, est de type magnétique en permanence et a un flux associé qui interagit avec le champ créé par les enroulements de stator et qui provoque la rotation du rotor 177.

Un fil de chaque enroulement de stator, portant les références bobines A, B et C, est disponible pour la connexion à une alimentation. L'autre fil de chaque enroulement est relié à un point commun de masse portant la référence 178.

On se réfère maintenant aux figures 13a à 13d, la figure 13b représentant plus précisément la séquence des impulsions de puissance commandant la machine représentée sur la figure 12. Dans cette séquence, le courant circule toujours dans deux enroulements de stator, pourvu qu'aucune impulsion due au circuit de commutation et au circuit de centrage ne provoque un raccourcissement. Plus précisément, les séquences d'application de puissance entretenant la rotation dans un sens d'une machine triphasée à quatre fils sont les suivantes: $-B + C$, $+A -B$, $+A -C$, $+B -C$, $-A +B$, et $-A +C$. La machine peut tourner en sens inverse par inversion de cette séquence.

Comme représenté sur la figure 13a, le passage à zéro de la tension induite dans les enroulements, pour la machine représentée sur la figure 12 dans laquelle le rotor est représenté à sa position 90° lorsqu'il tourne dans le sens horaire, a lieu lorsque le rotor est à 0, 60, 120, 180, 240, 320 et 360. Comme indiqué par les signaux représentant le moment où l'énergie est appliquée aux bobines A, B et C, ces points de passage à zéro apparaissent à un moment décalé du temps nécessaire à la rotation du rotor de 60° . En conséquence, un arrangement de compteurs analogue à celui qu'on a décrit en référence à la figure 4 peut être utilisé dans ces machines triphasées pour la détermination de la position du rotor.

Une petite modification du circuit, du type représenté sur la figure 14, est nécessaire pour qu'un ensemble à deux compteurs du type représenté sur la figure 4 puisse créer des signaux de position pour une machine du type représenté sur la figure 12. Chacun des enroulements de la machine triphasée est associé à un détecteur de passage à zéro du type représenté sur la figure 4. Le fil de sortie de chacun de ces détecteurs transmet une impulsion chaque fois qu'un passage à zéro est noté pour la tension induite dans l'enroulement qui est relié. Les signaux de passage à zéro sont présentés à une première entrée d'une porte réunion 180 représentée sur la figure 14. La sortie de celle-ci est reliée à une première entrée de deux portes intersection 181 et 182. La seconde entrée de la porte 181 est reliée directement à la sortie d'une bascule 183 et la seconde entrée de la porte 182 est reliée à la sortie d'un circuit 184 d'inversion dont l'entrée est reliée directement à la sortie de la bascule 183. En conséquence, la seconde entrée de la porte 181 reçoit toujours un signal ayant un niveau logique opposé à celui de la seconde entrée de la porte 182. Ainsi, une impulsion créée à la sortie de la porte 180, indiquant la détection d'un passage à zéro de la tension induite dans un enroulement, passe dans l'une des portes 181, 182 mais pas dans les deux. Le signal de sortie de la porte 181 est transmis

au circuit de la figure 4 et correspond au fil 116 rejoignant le circuit 17 de commutation. Le signal de sortie de la porte 182 d'autre part correspond au fil 122 d'entrée du circuit 17. Les signaux des fils 116 et 122 jouent les mêmes rôles que décrit précédemment.

Chaque signal de sortie des portes 181, 182 est transmis à une entrée d'une porte réunion 185. Le signal de sortie de celle-ci est transmis à l'entrée d'une ligne à retard ou d'un circuit analogue 186 dont le signal apparaît un certain temps après le moment où le signal d'entrée a été appliqué. Ce circuit 186 de retard est relié à l'entrée de la bascule 183. Ainsi, chaque fois qu'un passage à zéro est détecté, cette détection provoque la création d'une impulsion dans l'un des fils 116 ou 122. Cette impulsion peut aussi modifier l'état de la bascule 183 si bien qu'un passage suivant à zéro détecté provoque l'inversion du signal du fil 116 ou 122 dans lequel le signal apparaît. En conséquence, les passages successifs à zéro détectés provoquent la création alternée d'impulsions dans les fils 116 et 122. Ces impulsions alternées sont utilisées comme décrit précédemment en référence aux compteurs 18 et 19 de la figure 4.

En plus des modifications représentées sur la figure 14, le commutateur électronique 14 de la figure 4 doit être modifié afin qu'il crée six signaux uniques de sortie, successivement, sous la commande des impulsions d'entrée et non pas les quatre signaux créés par le circuit de la figure 4. Les six signaux de sortie doivent alors être utilisés par l'alimentation 13 pour la création de six impulsions de puissance suivant la séquence indiquée précédemment, pour la machine représentée de façon générale sur la figure 12. Ensuite, le circuit de la figure 4 peut être transformé avec des modifications mineures seulement, pour l'alimentation d'une machine triphasée à quatre fils du type représenté schématiquement sur la figure 12 et non pas d'une machine biphasée à trois fils du type représenté sur la figure 1.

Les spécialistes peuvent noter que les techniques d'élargissement et de raccourcissement des impulsions décrites en référence à la figure 4 conviennent aussi aux machines du type représenté sur la figure 12. L'invention s'applique aussi au fonctionnement des machines triphasées à trois fils.

Comme indiqué sur la figure 13d, un arrangement de compteurs-décompteurs peut être réalisé afin que deux compteurs

soient associés à chaque enroulement. Les compteurs A, B et C sont facilement commandés par les passages à zéro détectés pour la tension induite dans les bobines A, B et C, comme représenté sur la figure 13c, si bien que la séquence de commande du type représenté sur la figure 13b peut être créée.

Cette séquence de commande provoque la création d'impulsions de retenue ou de secondes impulsions de position provenant des compteurs A, B ou C lorsque le rotor occupe une position connue. L'avantage de l'utilisation de paires de compteurs associés à chaque enroulement est que cette configuration permet l'alimentation des enroulements pendant un temps différent de celui des impulsions de puissance représenté sur la figure 13b, si bien que le fonctionnement de la machine peut être modifié sélectivement.

Les spécialistes peuvent noter que l'invention décrite en référence aux machines biphasées et triphasées, peut être avantageusement appliquée à des machines ayant un nombre quelconque de phases. En fait, toute machine du type décrit précédemment et ayant un nombre quelconque de phases et de pôles peut être commandée par le procédé selon l'invention.

Les spécialistes peuvent aussi noter que la description qui précède concerne plus précisément certains modes de réalisation particulièrement avantageux. La réalisation pratique est cependant simplement représentative et correspond à un exemple avantageux de mise en œuvre des fonctions indiquées.

Cependant, la description est purement illustrative et non pas limitative car toute configuration logique convenable peut être utilisée pour la mise en œuvre des fonctions indiquées. En fait, de nombreuses modifications de circuit peuvent être réalisées par rapport à la configuration représentée sur les figures 7 à 11, assurant le même rôle que décrit en référence à la figure 4. De plus, les spécialistes peuvent noter facilement que les fonctions décrites et leurs équivalents peuvent être mis en œuvre par la technologie métal-oxyde-semi-conducteur MOS qui est avantageuse car les coûts de montages sont réduits de façon considérable.

La machine peut aussi être commandée non pas par un dispositif logique câblé du type représenté, mais aussi par un calculateur, mettant par exemple en œuvre des microprocesseurs programmés afin qu'ils remplissent les opérations de base décrites précédemment.

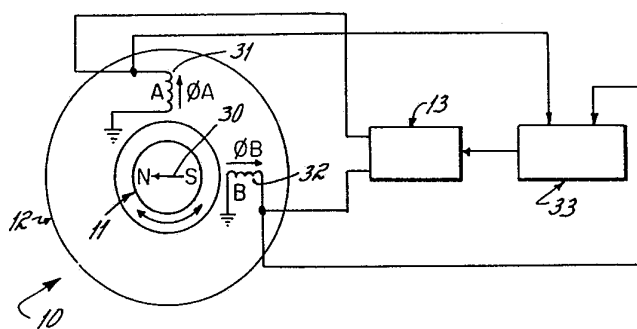


Fig. 1

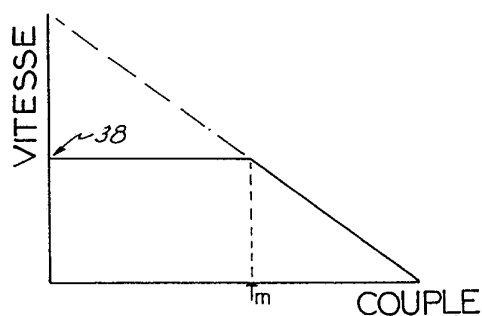
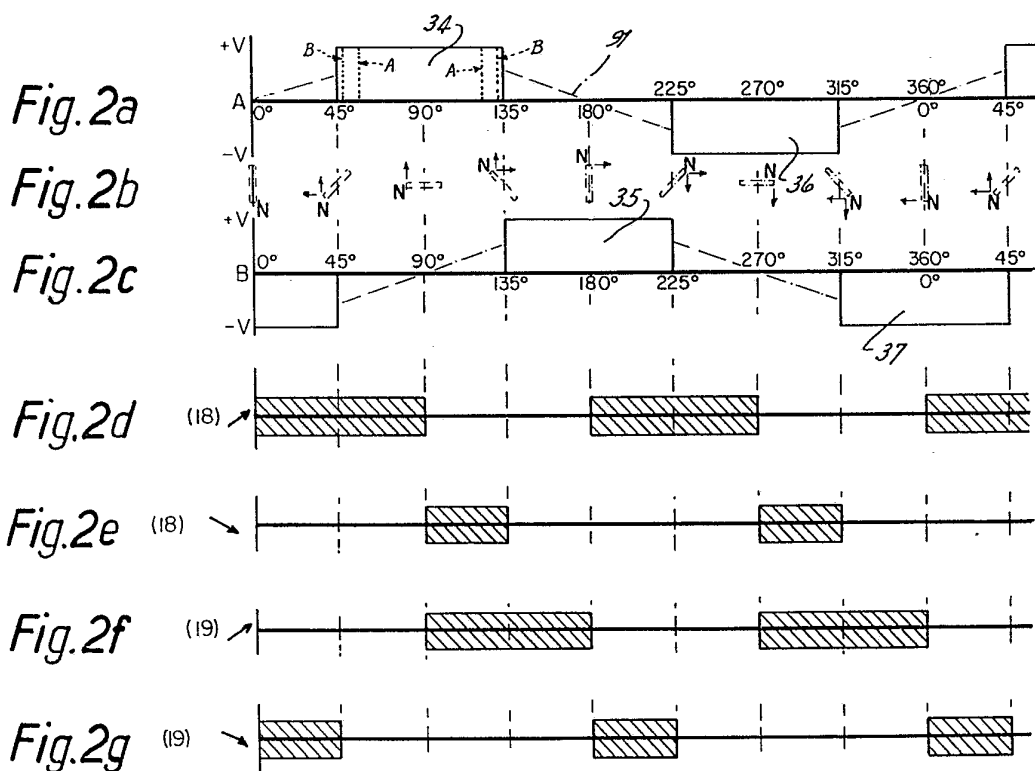


Fig. 3

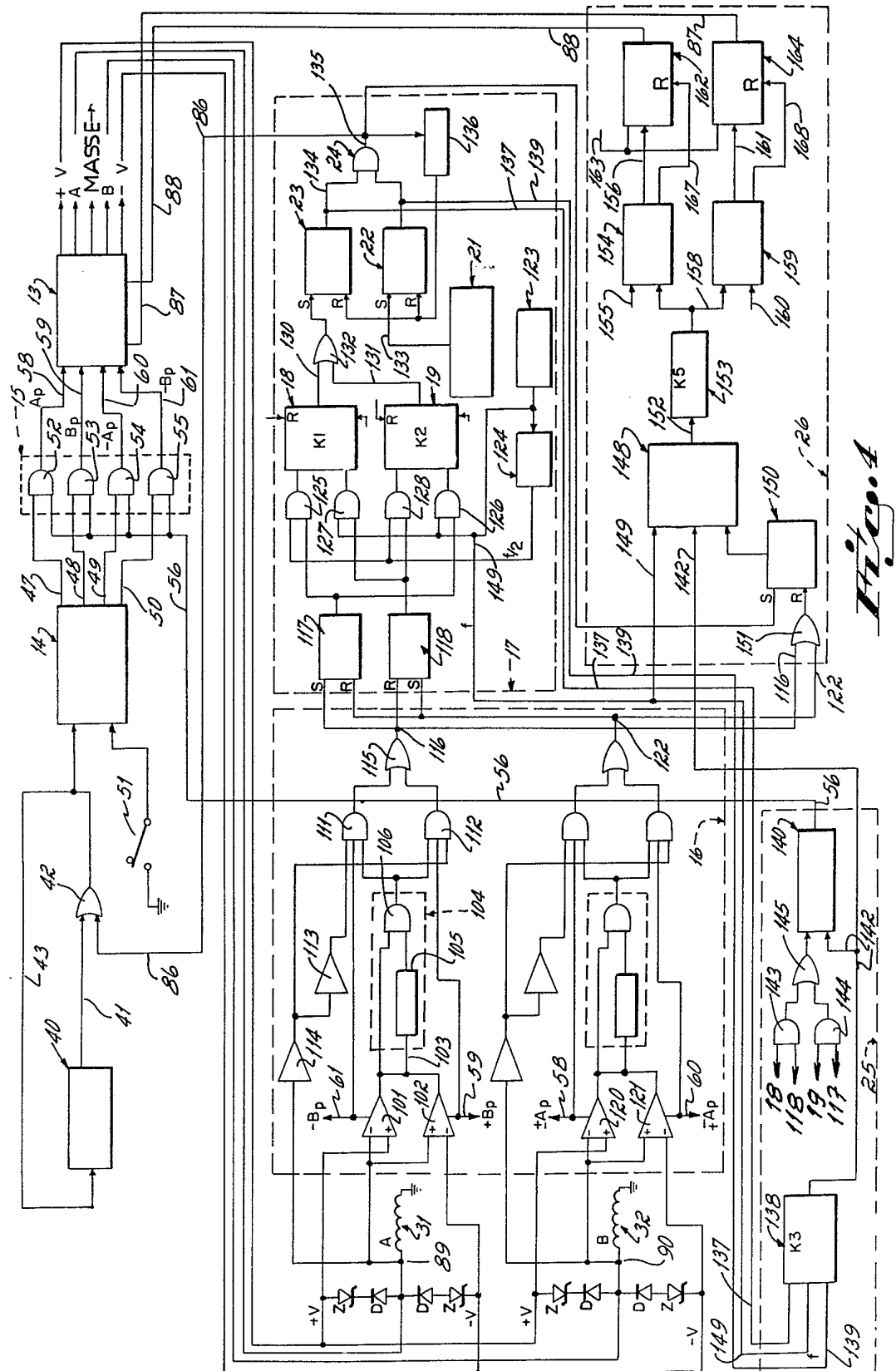


Fig. 4

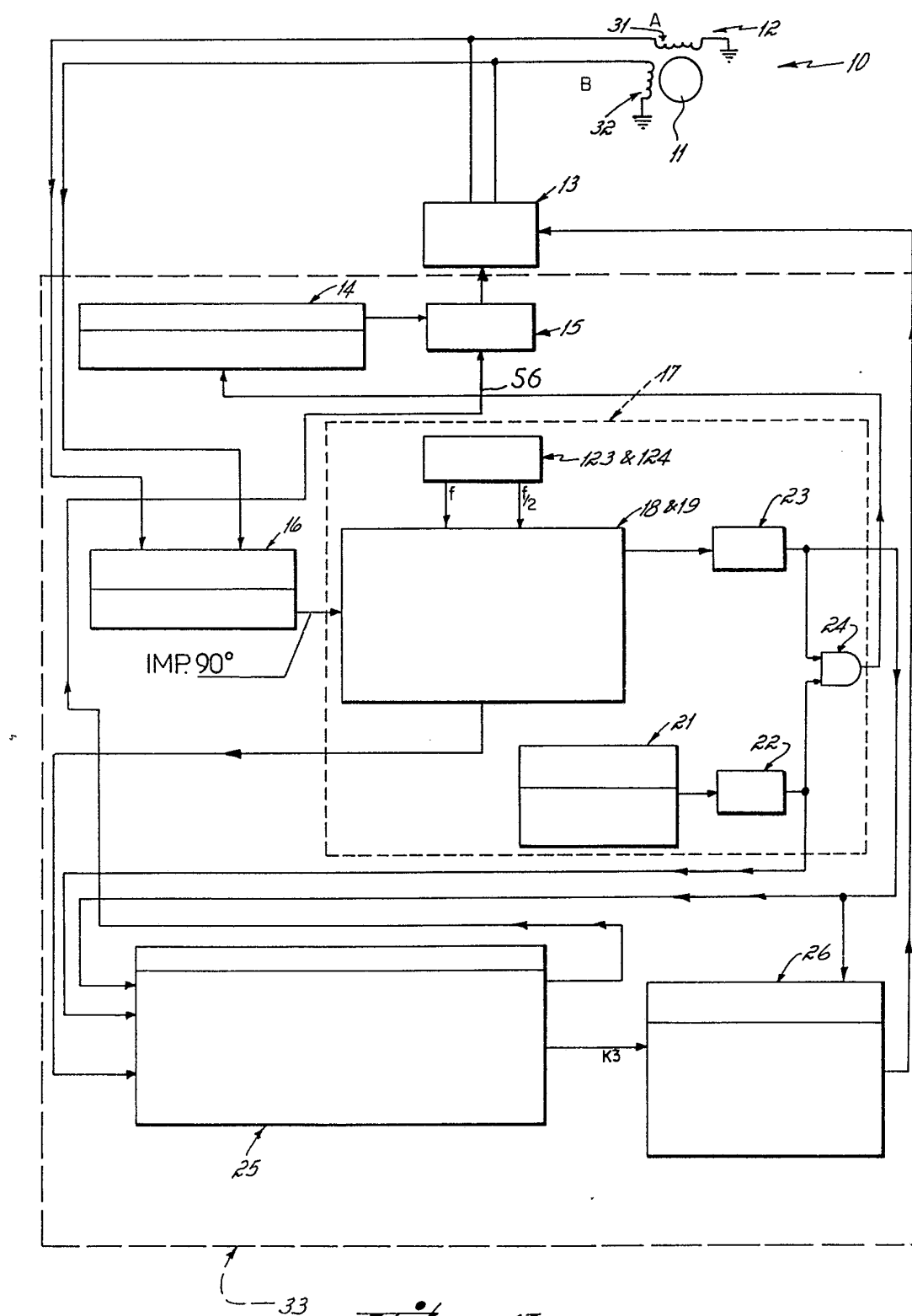


Fig. 4A

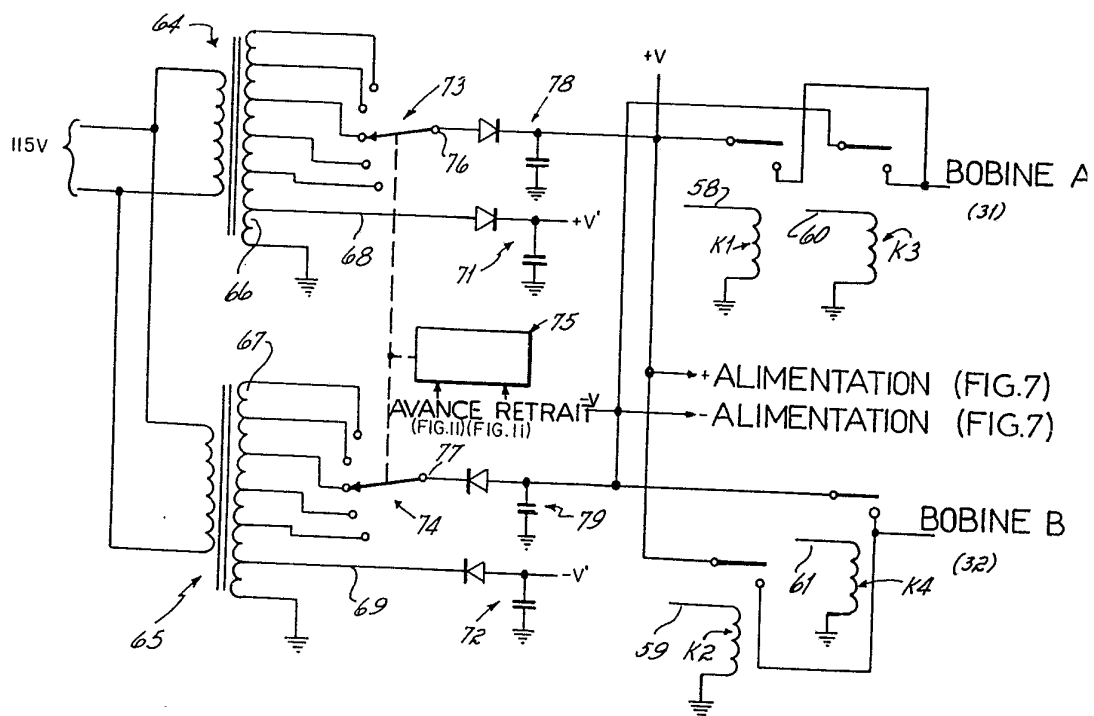


Fig. 5

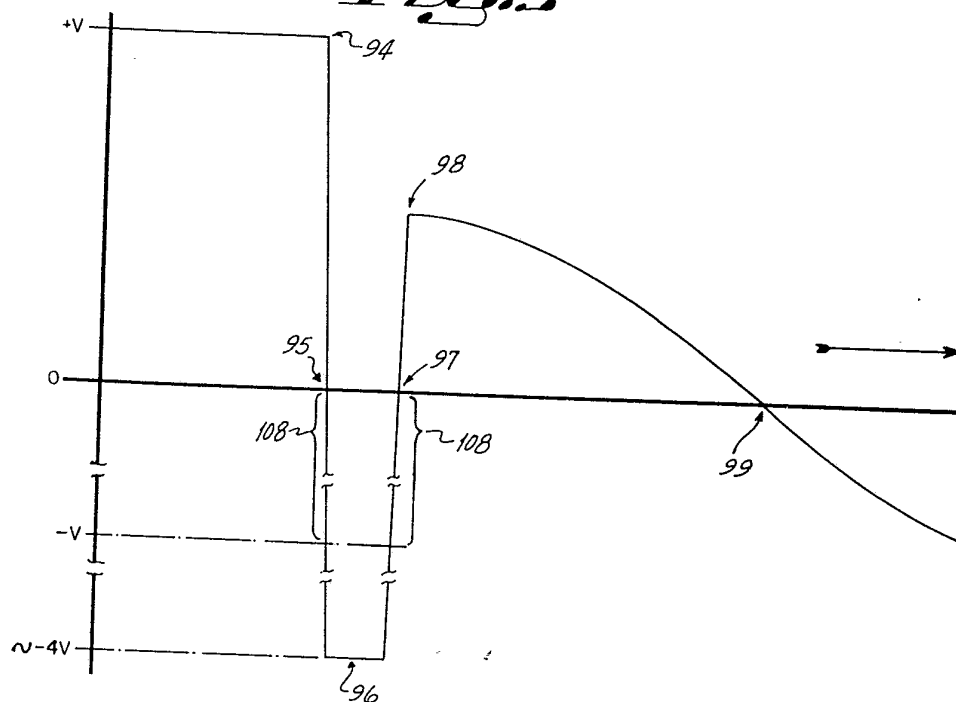


Fig. 6

SAUF INDICATION CONTRAIRE

TRANSISTORS NPN: 2N4401
TRANSISTORS PNP: 2N4403
DIODES - IN914
RESISTANCES: CC: 1/4W, 5%

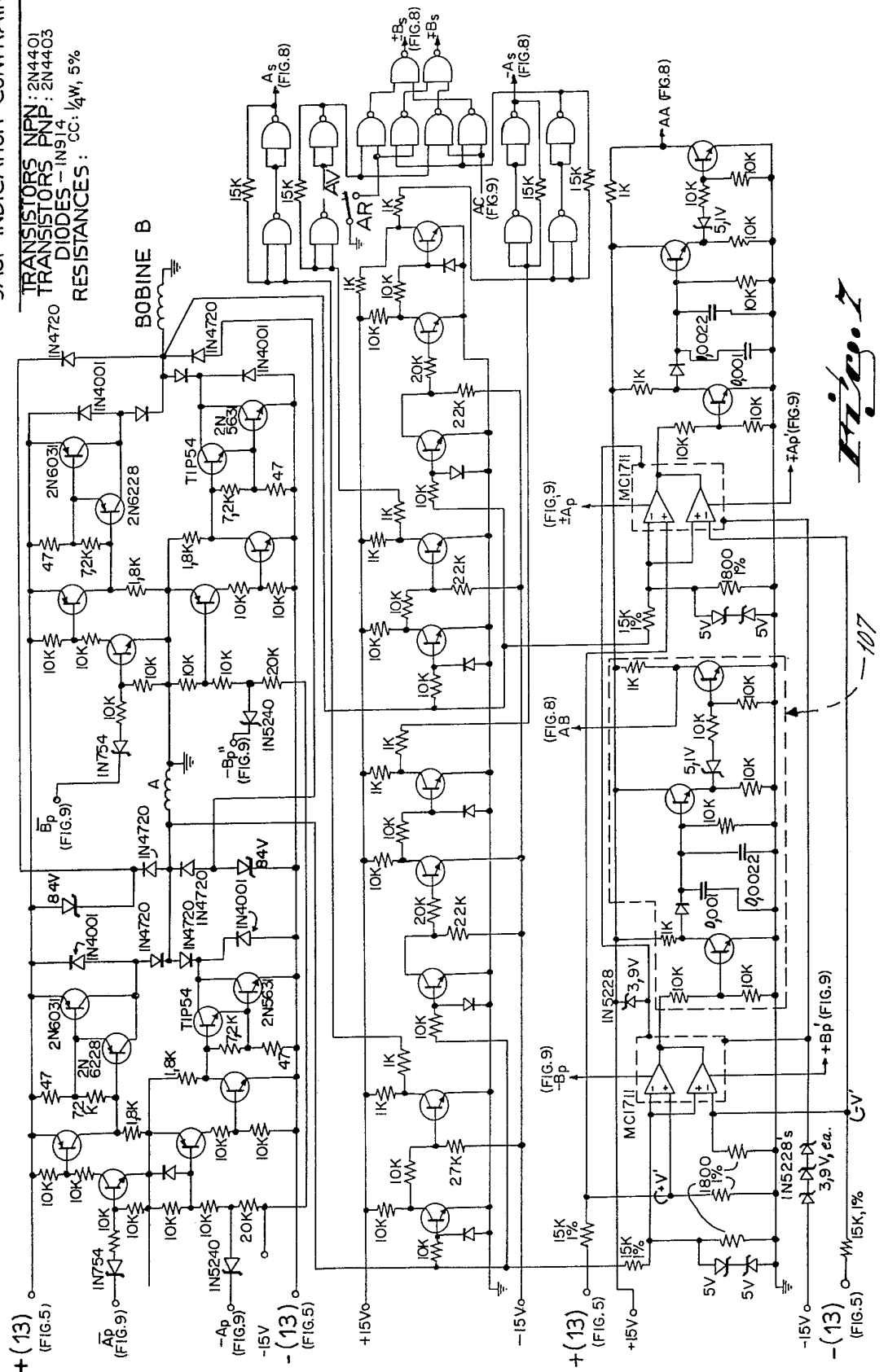
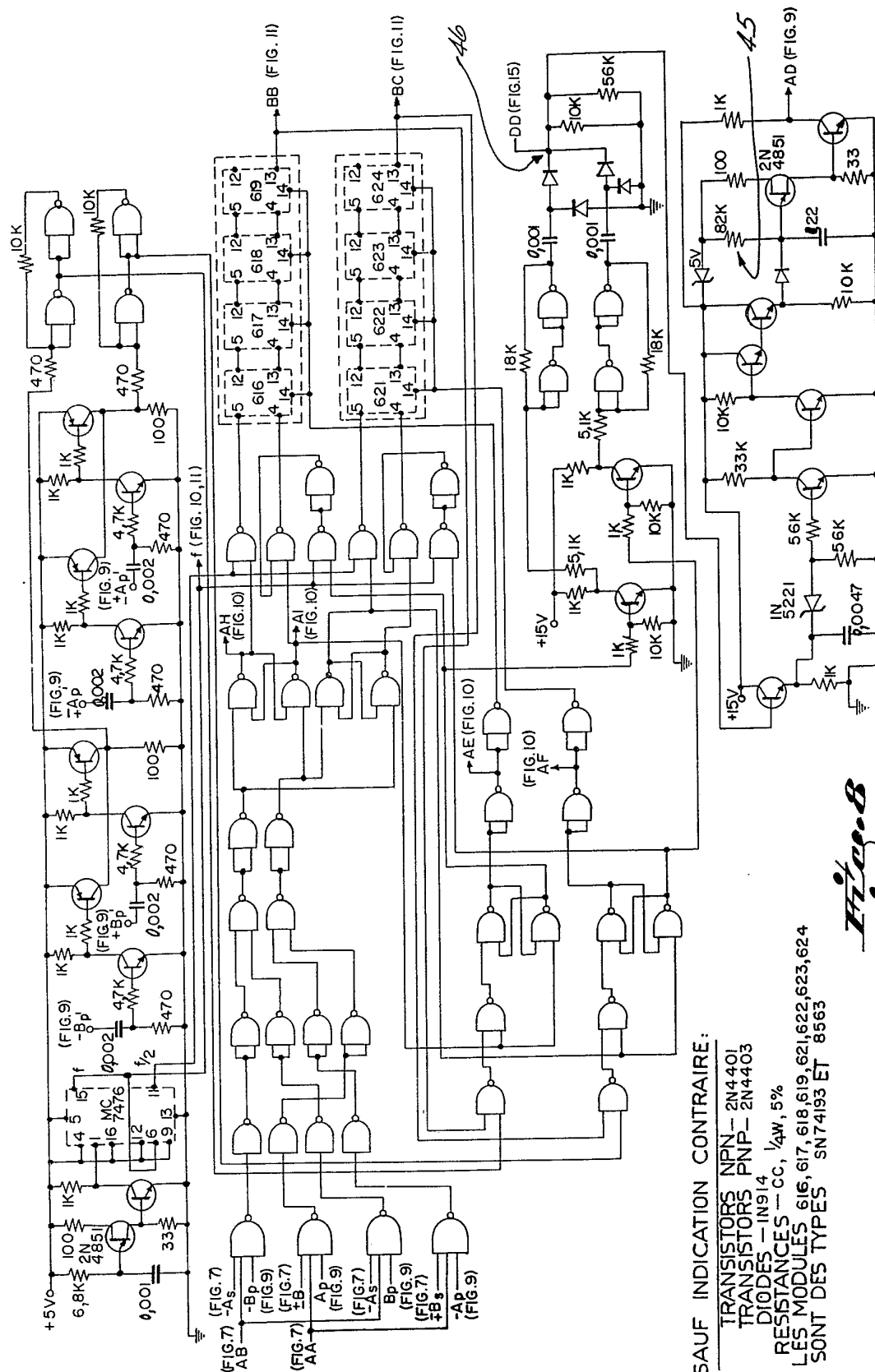


Fig. 2

107



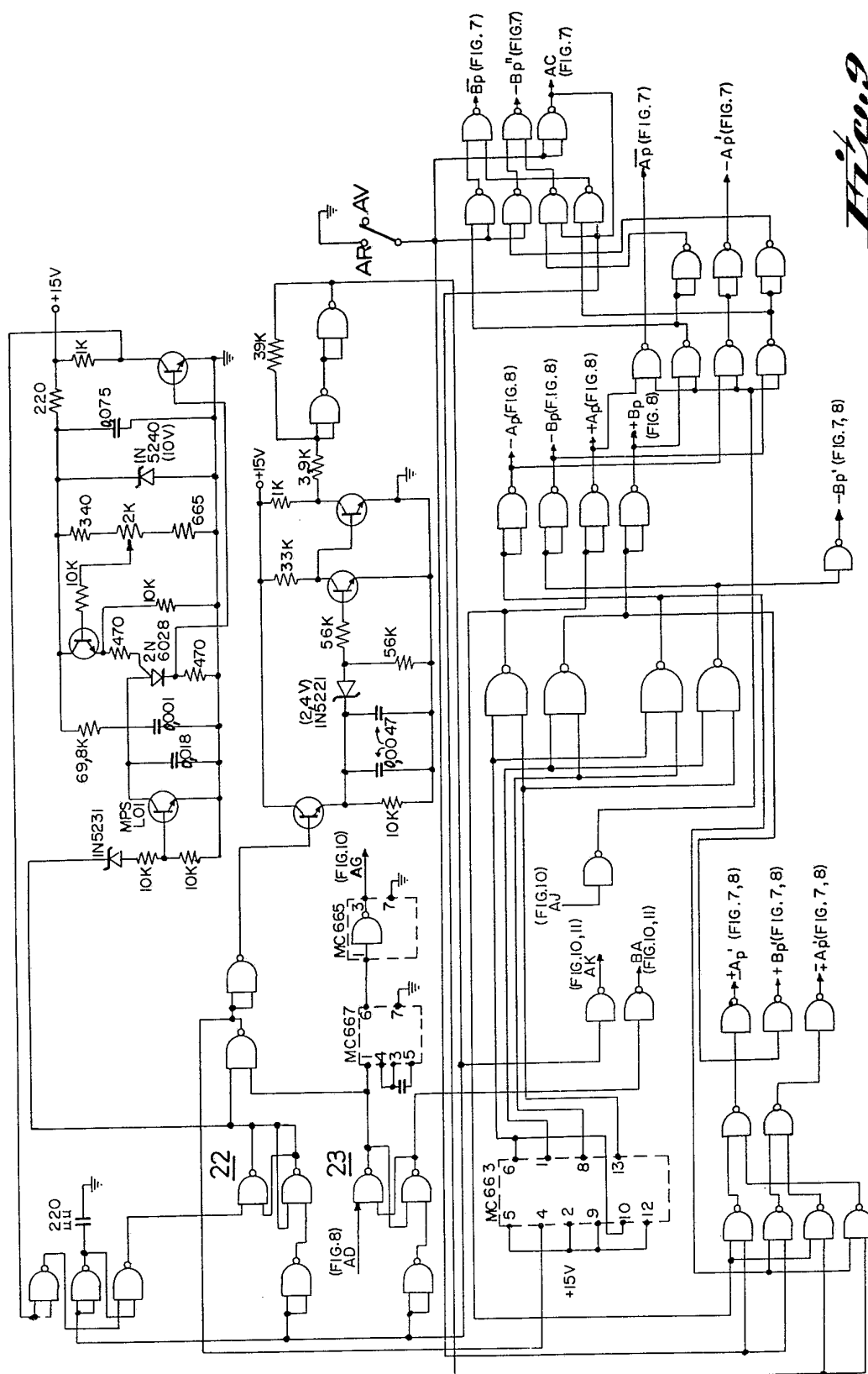
SAUF INDICATION CONTRAIRE:

TRANSISTORS NPN- 2N4401
TRANSISTORS PNP- 2N4403

DIODES - IN914
RESISTANCES - CC, 1/4W, 5%

LES MODULES 616, 617, 618, 619, 621, 622, 623, 624
SONT DES TYPES SN74193 ET 8563

Fig. 6



File 9

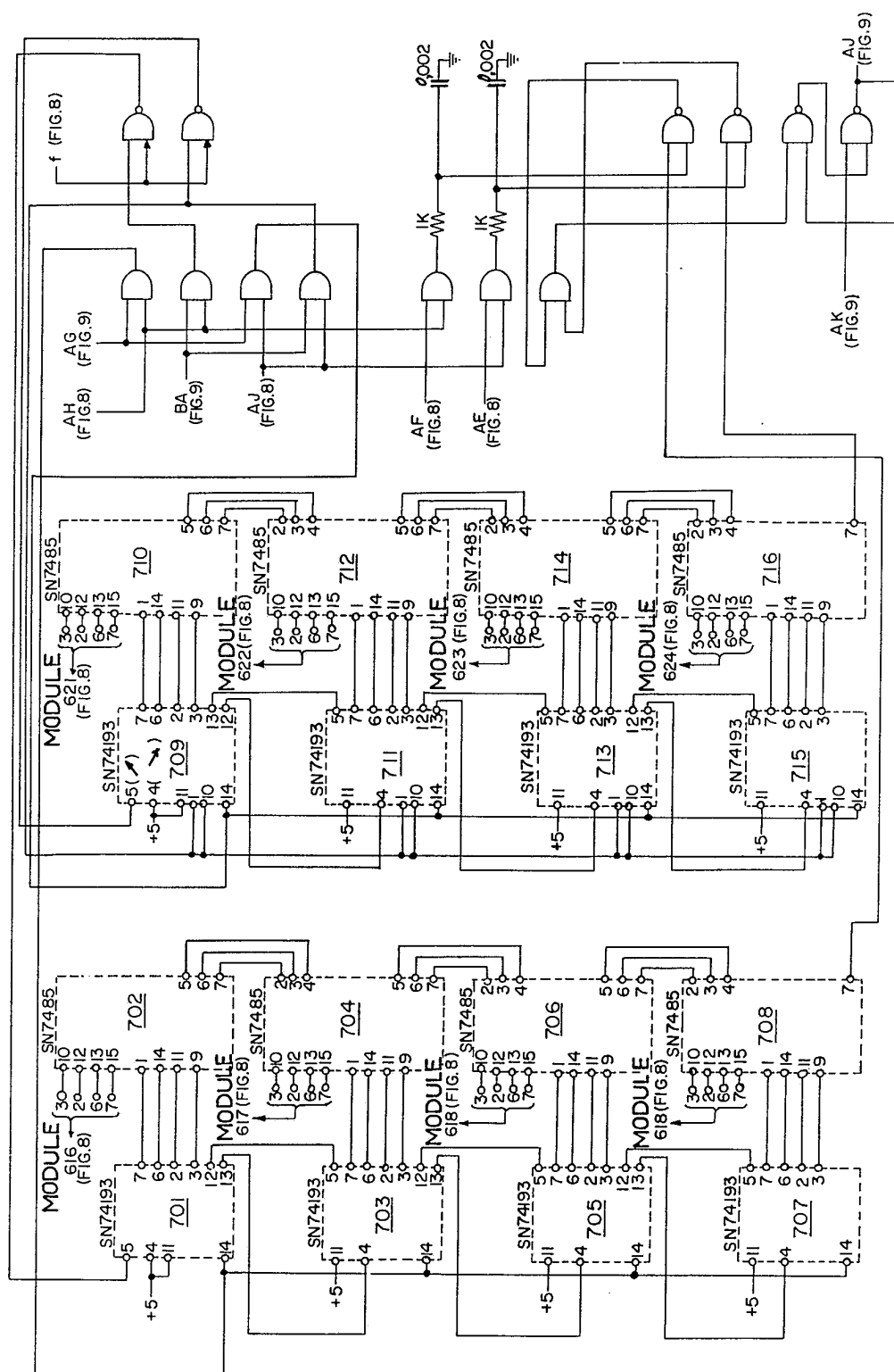


Fig. 10



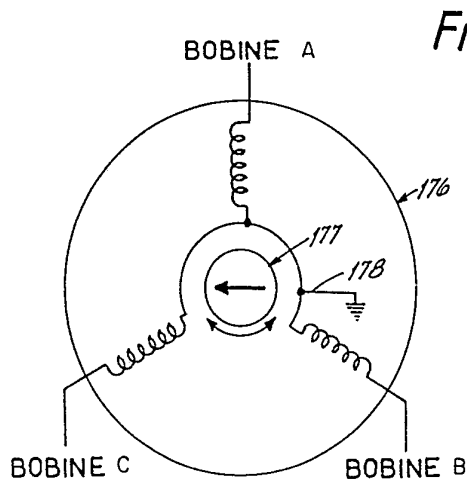


Fig. 13a

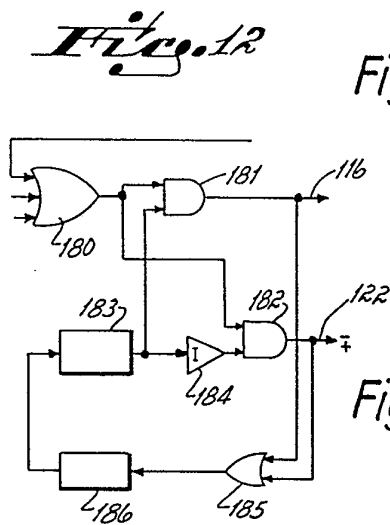
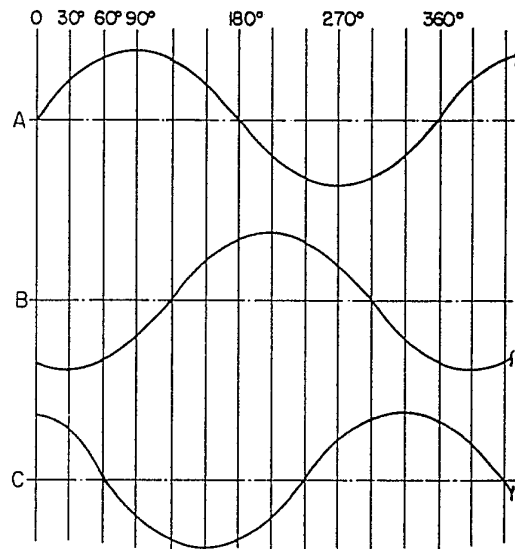


Fig. 13c

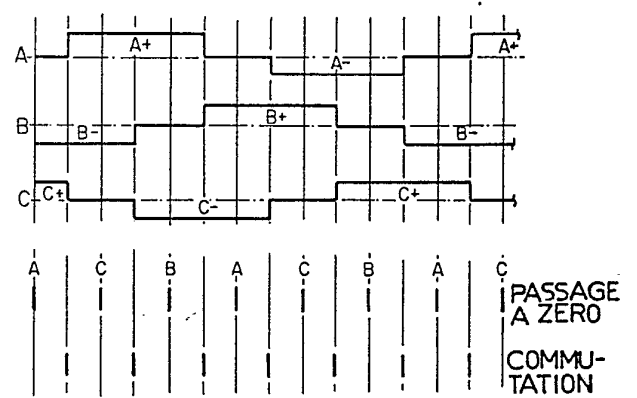


Fig. 14

Fig. 13d

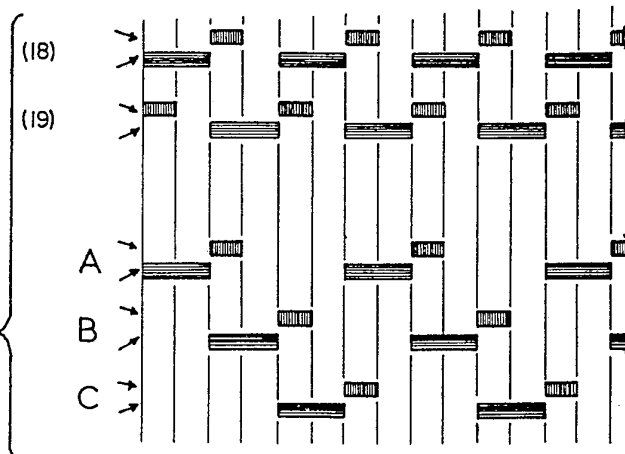




Fig. 16