

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 18921**

(54) Système de commande de facteur de puissance pour moteur à induction à courant alternatif commandé par onduleur.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 05 F 1/70; H 02 J 3/18; H 02 P 7/66, 13/28.

(22) Date de dépôt..... 2 septembre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *EUA, 4 septembre 1979, n° 072.523.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 10 du 6-3-1981.

(71) Déposant : Société dite : BORG-WARNER CORPORATION, société organisée selon les lois de l'Etat de Delaware, résidant aux EUA.

(72) Invention de : Edward Currier Siemon.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Novapat, cabinet Chereau,  
107, bd Pereire, 75017 Paris.

## 1.

La présente invention concerne un système de commande de facteur de puissance pour le fonctionnement d'un moteur alternatif à induction commandé par onduleur suivant un facteur de puissance constant désiré, dans le but de réduire la consommation de puissance, quelles que soient les variations de charge du moteur.

Les circuits de commande du facteur de puissance ont été étudiés pour que l'on puisse faire varier la puissance d'entrée d'un moteur à induction alors que les conditions de charge varient, dans le but de faire des économies d'énergie et d'améliorer le rendement du moteur. En l'absence de contrôle du facteur de puissance, les volts-ampères réactifs (puissance réactive) d'un moteur à induction peuvent être relativement élevés lorsque le moteur est à vide ou partiellement chargé, et cette situation constitue un gaspillage d'électricité. Le système de commande du facteur de puissance de la présente invention, qui est particulièrement utile lorsque le moteur à induction est alimenté par la tension alternative de sortie d'un onduleur, a une construction beaucoup plus simple que les systèmes de commande de facteur de puissance de l'art antérieur et présente une amélioration importante des performances.

Le système de la présente invention permet la commande du facteur de puissance dans un moteur alternatif à in-

## 2.

duction auquel est appliquée la tension alternative de sortie d'un onduleur qui est alimenté à son tour par une tension continue, provenant d'une barre omnibus à courant continu connectée à un système d'alimentation en courant continu, le courant continu de la barre omnibus circulant alternativement dans l'inverseur et vers le moteur en courant réel, puis du moteur dans l'onduleur et vers le système d'alimentation en courant continu comme courant réactif. Le système de commande du facteur de puissance comprend un moyen permettant de détecter le courant de la barre omnibus en courant continu, et de développer à partir de celui-ci une tension alternative qui varie autour du zéro et reflète le facteur de puissance du moteur à induction, la tension au-dessus du zéro représentant le courant actif du moteur alors que la tension au-dessous de zéro représente le courant réactif du moteur. Des moyens sont prévus pour fournir une tension de référence représentant le facteur de puissance désiré dans le moteur à induction. Des moyens sont inclus qui permettent de comparer la tension alternative à la tension de référence de façon à produire une tension d'erreur qui varie en fonction de la différence entre le facteur de puissance souhaité et le facteur de puissance réel. Finalement, des moyens de commande répondent à la tension d'erreur pour faire varier l'amplitude de la tension alternative de l'onduleur et modifier la puissance réactive de façon à maintenir la valeur souhaitée du facteur de puissance.

La présente invention sera bien comprise lors de la description suivante faite en liaison avec les dessins ci-joints dans lesquels :

La figure 1 représente schématiquement un système de commande de facteur de puissance, construit conformément à la présente invention, et la manière avec laquelle ce système est couplé à un moteur à induction entraîné par un onduleur, et régulé celui-ci; et

La figure 2 représente certaines formes d'ondes de tension qui permettent la compréhension du fonctionnement du système de commande.

L'agencement et le fonctionnement des éléments 10 à

## 3.

24 sont généralement classiques et bien compris de l'homme de l'art. En bref, un circuit d'alimentation en courant continu contrôlé 10 peut avoir la forme d'un redresseur bien connu réglé en phase, qui reçoit une tension alternative d'entrée  
5 sur une ligne 11 (soit monophasée, soit triphasée) et fournit, sur une barre omnibus, une tension continue dont l'amplitude est déterminée par un signal de commande provenant d'une ligne 12. L'amplitude de la tension continue détermine à son tour l'amplitude de la tension alternative de sortie produite  
10 par l'onduleur 14. La fréquence de la tension de sortie de l'onduleur est établie par la fréquence de répétition d'impulsions de rythme ou impulsions de déclenchement reçues sur une ligne 15 et provenant d'un oscillateur commandé 16. L'oscillateur peut être commandé de façon que sa fréquence d'oscilla-  
15 tion soit réglée, en réponse à un signal de commande approprié représentant un certain paramètre. En variante, et comme cela est représenté d'une manière simplifiée, la fréquence d'oscillation (et par conséquent la fréquence de la tension alternative de l'onduleur) peut être simplement modifiée par réglage  
20 manuel d'un bouton 16a.

La sortie de l'onduleur 14 est appliquée à un moteur alternatif à induction 18, lequel se met à tourner à une vitesse déterminée par la fréquence de l'onduleur et directement proportionnelle à celle-ci. Le moteur fait à son tour tourner  
25 l'arbre 19 pour entraîner une charge mécanique variable 21.

Le signal de commande, appliqué par la ligne 12 au circuit d'alimentation en courant continu 10, est produit par un contrôleur volts/fréquence classique 22 qui fonctionne en réponse aux impulsions de rythme, provenant par une ligne 23  
30 de l'oscillateur 16, ainsi qu'en réponse à la tension continue provenant par une ligne 24 de la barre omnibus à courant continu. Lorsqu'on souhaite maintenir un couple constant à la sortie quelle que soit la vitesse du moteur, il est de pratique courante de faire fonctionner le système de façon à maintenir  
35 sensiblement constant le rapport entre amplitude et fréquence de la tension de l'onduleur appliquée au moteur. Cela peut être obtenu par le circuit 22, dont la construction est bien connue

## 4.

de l'homme de l'art. Le contrôleur 22 compare l'amplitude de la tension continue à la barre omnibus (amplitude qui détermine l'amplitude de la tension alternative de l'onduleur) à la fréquence d'oscillation et établit le signal de commande au niveau requis pour maintenir le rapport souhaité. Lorsqu'on manipule le bouton 16a pour sélectionner, par exemple, une vitesse de moteur plus élevée, le contrôleur 22 modifie automatiquement le signal de commande de façon à augmenter la tension continue appliquée à l'onduleur 14. Le signal de commande sera par conséquent directement proportionnel à la fois à la fréquence et à l'amplitude de la tension de l'onduleur.

Selon la présente invention, étant donné qu'il y a dissipation à la fois de puissance active et de puissance réactive dans le moteur 18, la totalité du courant de la barre en courant continu ne circulera pas entre le circuit d'alimentation 10 et le moteur à induction en passant par l'onduleur 14. Une partie de ce courant circulera en réalité dans la direction inverse, à partir du moteur 18 pour revenir au circuit d'alimentation 10. Plus spécifiquement, pendant une partie de chaque période s'écoulant entre les commutations de l'onduleur, le courant de la barre omnibus circulera vers le moteur en tant que courant actif. D'autre part, pendant la partie restante de ces périodes, le courant de la barre omnibus est alterné et revient du moteur 18 vers le circuit d'alimentation 10 en tant que courant réactif. Le rapport entre courant actif et courant réactif reflète le facteur de puissance du moteur. En maintenant ce rapport à un niveau préétabli, même en présence de variations de charge dans le moteur 18 ayant tendance à modifier le courant réactif, le facteur de puissance peut être maintenu à une valeur optimum dans le but d'améliorer le rendement du moteur et de réduire la consommation de puissance.

Ce contrôle du facteur de puissance est obtenu par utilisation d'une résistance 27 et d'un amplificateur différentiel à circuit intégré 28 afin de détecter le courant de la barre omnibus et de produire à partir de celui-ci une tension alternative (forme d'onde A de la figure 2) qui varie autour du zéro et reflète le facteur de puissance active du moteur à in-

## 5.

duction. En effet, le courant de la barre omnibus est transformé en une tension proportionnelle à ce courant. La fréquence de la forme d'onde de tension A est par conséquent directement proportionnelle à la fréquence de la tension de sortie de l'onduleur, étant déterminée par le nombre de fois que les commutateurs à l'état solide de l'onduleur sont actionnés pour terminer chaque cycle de la tension de sortie de l'onduleur. Par exemple, lorsque la tension alternative de l'onduleur a la forme d'onde bien connue en six échelons (de façon à se rapprocher d'une onde sinusoïdale), la fréquence de la forme d'onde A sera égale à six fois la fréquence de la sortie de l'onduleur. La tension de la forme d'onde A au-dessus du zéro représente le courant actif du moteur, alors que la tension au-dessous du zéro représente le courant réactif du moteur. Naturellement plus le rapport entre courant actif et courant réactif est élevé, plus le facteur de puissance est lui-même élevé.

De façon à déterminer si le facteur de puissance (qui est représenté par la forme d'onde A) se trouve établi au niveau souhaité, les facteurs de puissance réel et souhaité sont effectivement comparés dans un amplificateur à circuit intégré 31 qui fonctionne en comparateur. C'est-à-dire que la tension alternative (forme d'onde A) représentant le facteur de puissance réel est appliquée à l'entrée de non inversion ou entrée (+) de l'amplificateur 31, alors qu'une tension continue de référence, présente à la jonction d'une résistance fixe 32 et d'une résistance réglable 33, est appliquée à l'entrée de non inversion ou entrée (-) de l'amplificateur. Pendant chaque cycle de la forme d'onde A, la tension à l'entrée (+) de l'amplificateur 31 devient au début inférieure à la tension de référence à la borne (-) (ou négative par rapport à cette tension de référence), puis deviendra supérieure à la tension de référence (ou positive par rapport à cette tension de référence). Il en résulte que la tension de sortie de l'amplificateur 31 passe brutalement d'un niveau relativement élevé à un niveau relativement bas (essentiellement zéro volt) lorsque la tension à l'entrée (+) devient inférieure à

## 6.

la tension de référence. D'autre part, lorsque la tension à l'entrée (+) devient supérieure à la tension de référence à l'entrée (-), l'amplificateur 31 passe brutalement à son niveau de sortie relativement élevé.

5 Il apparaîtra ainsi que le niveau de la tension de référence peut représenter le facteur de puissance désiré, avec la forme d'onde de la tension de sortie de l'amplificateur 31 reflétant l'écart du facteur de puissance réel par rapport au facteur de puissance souhaité. Par réglage de la  
10 résistance 33, il est possible de choisir le facteur de puissance souhaité auquel le moteur fonctionnera.

Si l'on suppose que le commutateur analogique à semi-conducteur 35 est fermé, le signal de sortie de l'amplificateur 31 fait passer alternativement un transistor 36 à  
15 l'état conducteur et à l'état non conducteur, à la suite de quoi ce signal de sortie apparaît amplifié, mais inversé en phase, (voir forme d'onde B) à la jonction des résistances 37 et 38. Le signal rectangulaire de la forme d'onde B a ainsi un rapport cyclique qui est proportionnel à la différence entre les facteurs de puissance souhaité et réel. Une résistance 38 et un condensateur 39 constituent un circuit d'intégration ou de moyenne pour intégrer le signal de forme rectangulaire et produire une tension d'erreur qui varie en fonction de la différence entre les facteurs de puissance souhaité et  
20 réel. Cette tension d'erreur est amplifiée par un amplificateur à circuit intégré 41 et appliquée par une ligne 42 au circuit d'alimentation en courant continu 10, de façon à faire varier la tension continue appliquée à l'inverseur 14, par conséquent régler la tension de l'onduleur et modifier la puissance réactive nécessaire au maintien du facteur de puissance  
30 souhaité. Par exemple, si la charge du moteur 18 diminue, le courant réactif aura tendance à augmenter, ce qui amènera le facteur de puissance à s'écarter de la valeur souhaitée. En conséquence, le rapport cyclique du signal de sortie de l'amplificateur 31 sera modifié, et la tension d'erreur augmentera et provoquera la chute de la tension du moteur, ce qui aura pour effet de diminuer le courant réactif jusqu'à ce que le

## 7.

facteur de puissance souhaité soit rétabli.

On notera que la tension d'erreur de la ligne 42 est également appliquée au contrôleur 22. L'effet de cette tension est de faire varier le rapport amplitude/fréquence de la tension de l'onduleur, pendant les variations de la tension d'erreur, de façon que la fréquence (et par conséquent la vitesse du moteur) reste sensiblement constante en dépit des variations de l'amplitude de la tension de l'onduleur. D'autre part, dans certaines applications de la présente invention, il peut être souhaitable d'augmenter la fréquence de la tension de l'onduleur alors que son amplitude décroît de façon à compenser toute augmentation du glissement du moteur provoqué par la réduction de sa tension. Cela peut être obtenu en appliquant la tension d'erreur par la ligne 43 à l'oscillateur 16.

Dans la description du fonctionnement du système de la présente invention, on a supposé que le commutateur analogique 35 était fermé, ce qui permettait le fonctionnement du système de commande du facteur de puissance. La fonction du commutateur 35, et de son circuit de commande, est de retarder le fonctionnement du système de commande du facteur de puissance jusqu'à ce que la fréquence de la tension alternative de l'onduleur atteigne un niveau minimum prédéterminé, permettant ainsi le démarrage de l'onduleur. Plus spécifiquement, le signal de commande, qui est produit par le contrôleur 22 et est proportionnel à la fréquence de la tension de l'onduleur, est appliqué à l'entrée (+) d'un amplificateur 45 à circuit intégré qui fonctionne en comparateur, l'entrée (-) étant connectée à un diviseur de tension de façon à recevoir une tension de référence, qui représente effectivement une fréquence minimum prédéterminée.

Pendant le démarrage et jusqu'à ce que la fréquence minimum soit atteinte, la tension à l'entrée (+) du comparateur 45 sera inférieure à la tension à l'entrée (-), à la suite de quoi, la tension de sortie du comparateur sera relativement basse (essentiellement zéro volt) et le commutateur 35 restera ouvert. Cependant, lorsque la fréquence minimum sera



8.

atteinte, la tension à l'entrée (+) dépassera la tension de référence à l'entrée (-), et la tension de sortie du comparateur passera à son niveau relativement élevé. La tension de sortie du comparateur 45 constitue effectivement un signal  
5 de validation pour l'actionnement du commutateur 35 et en effectuer la fermeture, ce qui permet de valider le fonctionnement du système de commande.

Un amplificateur à circuit intégré 46 et son circuit associé constituent simplement un circuit de verrouillage limitant l'amplitude de la tension d'erreur à un niveau maximum prédéterminé. La tension d'erreur de la ligne 42  
10 n'est pas amenée à devenir supérieure à la tension à l'entrée (+) de l'amplificateur 46. Cela constitue une caractéristique souhaitable, étant donné que pour certaines fréquences et conditions de charge du moteur un facteur de puissance de niveau élevé ne peut pratiquement pas être atteint,  
15 même lorsque la tension du moteur est réduite à une valeur voisine de zéro. Avec ce circuit de verrouillage, une réduction maximum de la tension du moteur à partir de sa valeur  
20 nominale est permise.

La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits, elle est au contraire susceptible de variantes et de modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art.

REVENDICATIONS

- 1 - Système de commande du facteur de puissance d'un moteur à induction en courant alternatif entraîné par la tension alternative de sortie d'un onduleur qui à son tour  
5 est alimenté par une tension continue provenant d'une barre omnibus à courant continu à partir d'un circuit d'alimentation en courant continu, le courant de la barre omnibus traversant l'onduleur pour être appliqué au moteur sous forme de courant actif et revenant du moteur au circuit d'alimentation en passant par l'onduleur sous forme de courant réactif,  
10 caractérisé en ce qu'il comprend :
- des moyens (27, 28) pour détecter le courant de la barre omnibus en courant continu et produire à partir de celui-ci une tension alternative qui varie autour de zéro  
15 et représente le facteur de puissance réel du moteur à induction, la tension au-dessus du zéro représentant le courant actif appliqué au moteur et la tension au-dessous du zéro le courant réactif du moteur;
  - des moyens (32, 33) pour fournir une tension de  
20 référence représentant le facteur de puissance souhaité du moteur à induction;
  - des moyens (31-42) pour comparer la tension alternative à la tension de référence et produire une tension d'erreur qui varie en fonction de la différence entre le facteur de  
25 puissance souhaité et le facteur de puissance réel; et
  - des moyens de commande (10, 22) répondant à la tension d'erreur pour faire varier l'amplitude de la tension alternative de l'onduleur et modifier la puissance réactive de façon à maintenir le facteur de puissance à la valeur sou-  
30 haitée.
- 2 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que la tension de référence est une tension continue d'amplitude prédéterminée, en ce que le moyen de comparaison comprend un comparateur (31) à une entrée duquel est appli-  
35 quée la tension alternative et à l'autre entrée duquel est appliquée la tension de référence, le comparateur produisant un signal de forme rectangulaire ayant un rapport cyclique propor-

10.

tionnel à la différence entre les facteurs de puissance souhaité et réel, et en ce que le moyen de comparaison comprend également un circuit d'intégration du signal de forme rectangulaire pour produire la tension d'erreur.

5           3 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen de commande fait varier la tension continue produite par le circuit d'alimentation en courant continu, de façon à régler l'amplitude de la tension alternative de l'onduleur appliquée au moteur.

10           4 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen (33) pour faire varier la tension de référence et permettre le réglage du facteur de puissance souhaité auquel le moteur fonctionnera.

15           5 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen (22) répondant à la tension d'erreur pour maintenir la fréquence de la tension alternative de l'onduleur à une valeur sensiblement constante, ce qui aura pour effet de maintenir la vitesse du moteur à une valeur sensiblement constante en dépit des variations d'ampli-  
20           tude de la tension de l'onduleur.

          6 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen (16) répondant à la tension d'erreur pour augmenter la fréquence de la tension alternative de l'onduleur alors que son amplitude décroît, de façon  
25           à compenser toute augmentation du glissement du moteur provoquée par la diminution de sa tension.

          7 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit de verrouillage (46) pour limiter l'amplitude de la tension d'erreur à un niveau  
30           maximum prédéterminé.

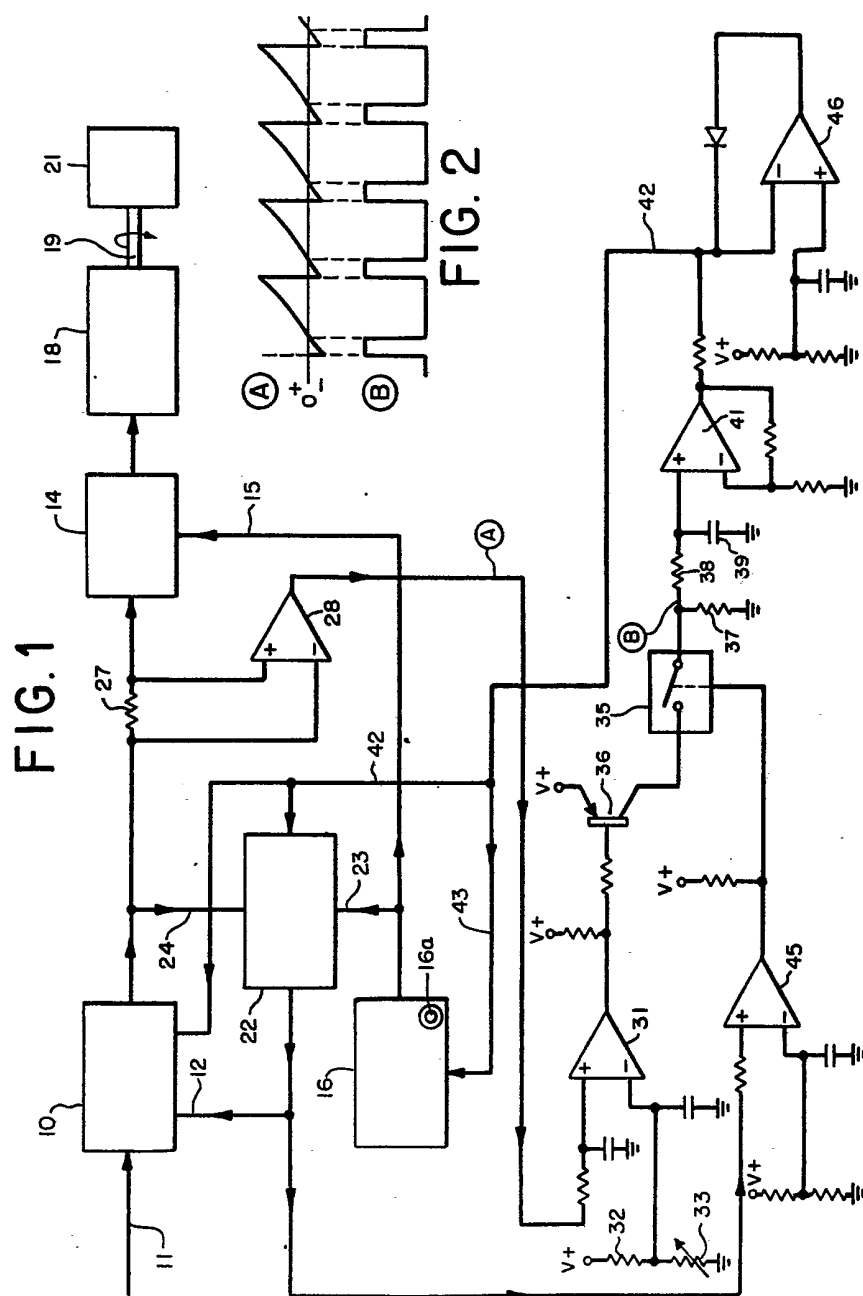
          8 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (35, 45) pour retarder son fonctionnement jusqu'à ce que la fréquence de la tension alternative de l'onduleur atteigne un niveau prédéterminé, ce  
35           qui permet le démarrage de l'onduleur.

          9 - Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen (35) pour valider le fonction-

11.

5 nement du moyen de comparaison, un moyen (22) pour fournir un signal de commande qui est proportionnel à la fréquence de la tension alternative de l'onduleur, et un moyen supplémentaire (45) pour comparer le signal de commande à un signal de référence, représentant une fréquence minimum prédéterminée, afin de produire un signal de validation permettant le fonctionnement du moyen de validation chaque fois que la fréquence de la tension alternative de l'onduleur dépasse la fréquence minimum prédéterminée.

PL. UNIQUE



**FIG. 2**