Office de la Propriété Intellectuelle du Canada
Un organisme d'Industrie Canada

Canadian Intellectual Property Office
An agency of Industry Canada

CA 2147082 C 2004/06/29

(11)(21) 2 147 082

(12) BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT

(13) C

(22) Date de dépôt/Filing Date: 1995/04/13

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1995/10/16

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2004/06/29

(30) Priorité/Priority: 1994/04/15 (94.04490) FR

(51) Cl.Int.^{6}/Int.Cl.^{6} H02P 1/28

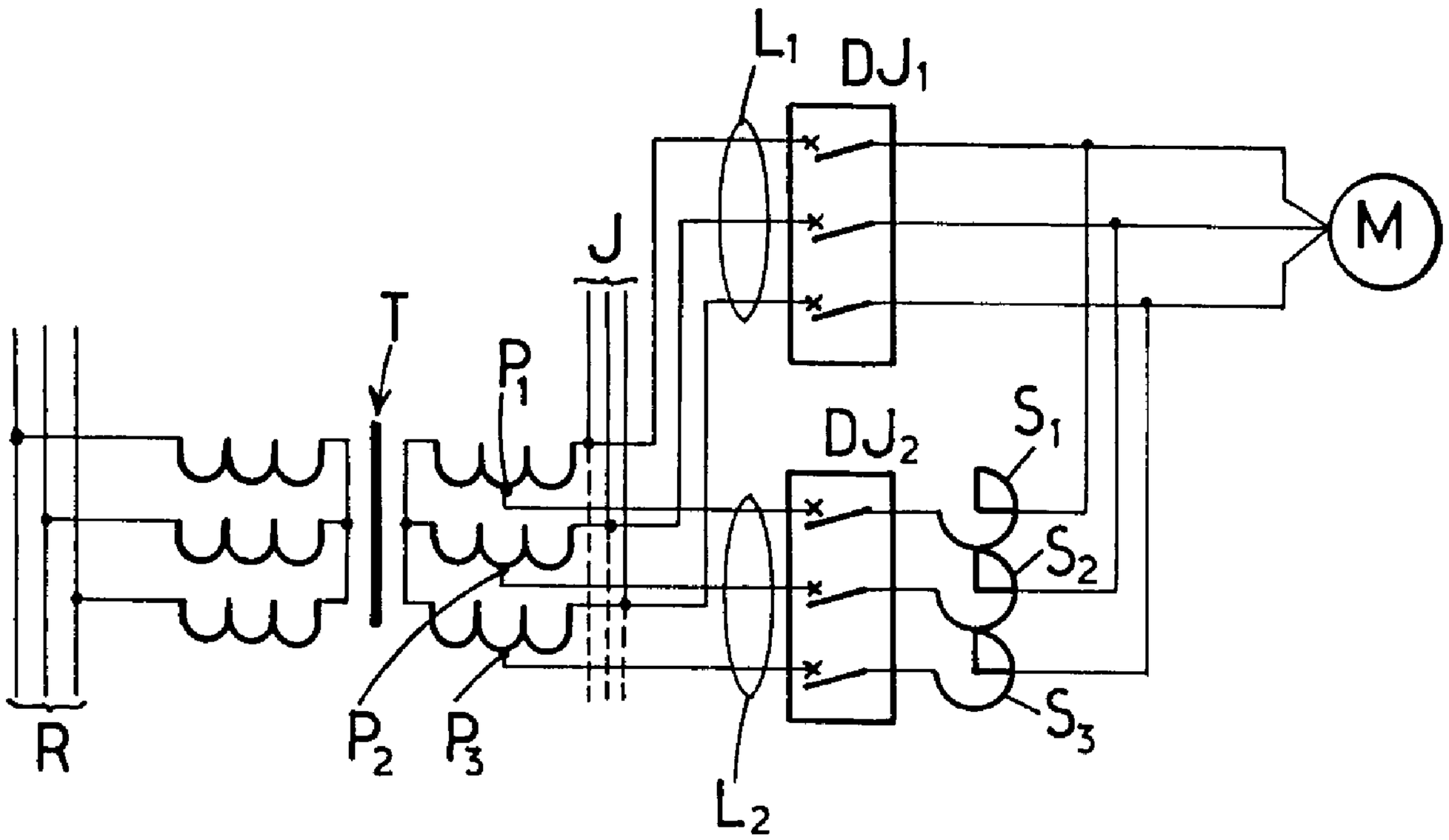
(72) Inventeurs/Inventors:
VEZINET, MARC, FR;
MOURIER, SERGE, FR

(73) Propriétaire/Owner:
L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME A DIRECTOIRE ET CONSEIL DE SURVEILLANCE POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE, FR

(74) Agent: OGILVY RENAULT

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF D'ALIMENTATION D'UN MOTEUR ELECTRIQUE POLYPHASE, EN PHASE DE DEMARRAGE

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR FEEDING A MULTI-POLE ELECTRIC MOTOR DURING THE START-UP PHASE



(57) Abrégé/Abstract:
Le moteur est alimenté à travers un transformateur débitant sur un jeu de barres auxquelles sont connectés le moteur et d'autres consommateurs d'énergie électrique, ledit moteur absorbant à lui seul une puissance active supérieure ou égale à 20% de la puissance électrique installée. Pendant au moins une partie de la phase de démarrage du moteur, on alimente celui-ci avec des tensions réduites prélevées sur des prises intermédiaires des enroulements secondaires du transformateur. Application à l'alimentation d'un moteur d'entraînement d'un compresseur d'air pour usages industriels.

ABRÉGÉ DESCRIPTIF

Le moteur est alimenté à travers un transformateur débitant sur un jeu de barres auxquelles sont connectés le moteur et d'autres consommateurs d'énergie électrique, ledit moteur absorbant à lui seul une puissance active supérieure ou égale à 20% de la puissance électrique installée. Pendant au moins une partie de la phase de démarrage du moteur, on alimente celui-ci avec des tensions réduites prélevées sur des prises intermédiaires des enroulements secondaires du transformateur. Application à l'alimentation d'un moteur d'entraînement d'un compresseur d'air pour usages industriels.

La présente invention est relative à un procédé et à un dispositif d'alimentation d'un moteur électrique polyphasé, en phase de démarrage, à travers un transformateur débitant sur un jeu de barres auxquelles sont connectés le moteur et d'autres consommateurs d'énergie électrique, ledit moteur absorbant à lui seul une puissance active supérieure ou égale à 20% de la puissance électrique installée.

On emploie couramment dans l'industrie des unités de séparation de gaz qui servent à alimenter des ateliers avec divers fluides tels que de l'air comprimé, de l'oxygène, de l'argon, etc... Une telle unité comprend ordinairement un puissant moteur alimenté en courant triphasé et entraînant un compresseur d'air produisant de l'air comprimé à 8 bars par exemple, la séparation des gaz précités s'opérant ensuite en partant de cet air comprimé.

Un transformateur principal alimenté par le réseau débite sur un jeu de barres auquel le moteur est connecté, de même que d'autres consommateurs d'énergie électrique installés dans l'atelier concerné. Du fait de sa puissance, couramment de l'ordre de 20 MW, le moteur d'entraînement du compresseur consomme une part importante de la puissance disponible à la sortie du transformateur, supérieure à 20% de cette puissance et atteignant souvent 50% ou plus.

On conçoit que le démarrage d'un tel moteur cause des problèmes, notamment lorsque le réseau d'alimentation présente une puissance de court-circuit faible. Dans cette hypothèse, le démarrage du moteur peut réduire la tension disponible sur le jeu de barres à un niveau tel (par exemple inférieur de 15% au moins à la tension nominale) que le fonctionnement des autres consommateurs d'énergie en est empêché ou perturbé.

Par ailleurs, le temps de démarrage du moteur est fonction, notamment, de la somme des inerties des appareils qu'il entraîne et de la tension disponible à ses bornes. Au démarrage on observe alors un fort appel de courant pendant un temps proportionnel à la somme de ces inerties. Ce fort appel de courant provoque un dégagement de chaleur dans un système d'enroulements alors adiabatique, dégagement qu'il

faut donc limiter en réduisant autant que possible le temps de démarrage, typiquement une valeur comprise entre 15 et 40 s.

Pour ce faire, deux techniques sont actuellement utilisées. Suivant la première, on régule à une valeur constante le rapport de la tension à la fréquence du courant fourni au moteur pendant une phase de démarrage, de manière qu'à tout instant le moteur reçoive seulement la puissance nécessaire à ce démarrage, sans échauffement donc. Malheureusement cette technique implique l'emploi d'une électronique de puissance lourde et coûteuse.

Suivant l'autre technique, le moteur est associé à un autotransformateur qui lui est propre, installé entre le transformateur principal et le moteur. En phase de démarrage, on alimente le moteur avec une tension réduite, prélevée sur l'autotransformateur, ce qui évite de perturber le fonctionnement des autres consommateurs connectés au jeu de barres, mais accroît la durée du démarrage jusqu'à des valeurs qui peuvent être prohibitives, du point de vue échauffement. Du fait de l'emploi d'un autotransformateur additionnel, cette solution présente d'autres inconvénients: elle est coûteuse, elle impose une chute de tension supplémentaire (dans l'autotransformateur) et enfin la puissance consommée pendant le démarrage n'est pas la puissance minimum nécessaire à celui-ci.

La présente invention a donc pour buts de proposer un procédé d'alimentation d'un moteur électrique polyphasé, en phase de démarrage, qui soit de mise en oeuvre peu coûteuse et qui n'engage que la consommation d'énergie juste nécessaire au démarrage du moteur.

On atteint ces buts de l'invention, ainsi que d'autres qui apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, avec un procédé d'alimentation d'un moteur électrique polyphasé, à travers un transformateur débitant sur un jeu de barres auxquels sont connectés le moteur et d'autres consommateurs d'énergie électrique, ledit moteur absorbant à lui seul une puissance active supérieure ou égale à 20% de la puissance électrique installée, ce procédé étant remarquable

en ce que, pendant au moins une partie de la phase de démarrage du moteur, on alimente celui-ci avec des tensions réduites prélevées sur des prises intermédiaires des enroulements secondaires du transformateur.

Grâce à cette disposition, on fait l'économie de l'autotransformateur classiquement utilisé au démarrage.

Suivant une caractéristique avantageuse de la présente invention, le rapport de transformation à vide du transformateur, sur chaque prise intermédiaire, est choisi pour que les rapports de tension U_b/U_a et U_m/U_a soient tous deux supérieurs à des valeurs prédéterminées respectives, U_b, U_m et U_a étant respectivement la tension sur le jeu de barres pendant le démarrage, la tension aux bornes du moteur pendant le démarrage et la tension assignée à partir de laquelle sont établies les performances du moteur et des consommateurs d'énergie électrique. Comme on le verra plus loin, on arrive ainsi à limiter la chute de tension observée sur le jeu de barres de manière à ne pas perturber le fonctionnement des autres consommateurs électriques, tout en assurant l'alimentation du moteur avec une tension suffisante pour surmonter les inerties agissant sur son arbre de sortie en un temps assez réduit pour éviter tout problème d'échauffement.

Dans certains cas pratiques extrêmes, le procédé selon l'invention, tel que précédemment décrit devra encore être perfectionné.

Il s'agit par exemple des cas où le réseau a des caractéristiques très inadaptées au démarrage du moteur (c'est le cas d'une puissance de court-circuit faible ou d'une chute de tension autorisée faible) ou encore lorsque la machine entraînée par le moteur est extrêmement exigeante (c'est le cas de machines entraînées ayant un moment d'inertie et/ou couple résistant élevés).

Il sera alors particulièrement avantageux d'associer au moins un appareil auxiliaire de lancement pneumatique (constitué par exemple par une turbine à gaz), qui fournit au moteur une énergie directement sous forme mécanique, provenant de la détente d'un fluide sous pression typiquement

un gaz.

Ce gaz pourra être par exemple de l'air, de l'azote, mais également tout autre gaz adapté qu'une installation industrielle peut envisager de stocker. La forme sous laquelle ce gaz est stocké est alors indifférente, liquide ou gazeuse.

Cet appareil auxiliaire de lancement pneumatique sera alors mis en oeuvre seul durant une première partie de la phase de démarrage, permettant d'amener la vitesse du moteur jusqu'à un certain pourcentage X% de sa vitesse nominale.

On doit donc entendre par cela le fait que durant cette première partie de la phase de démarrage, le moteur n'est alimenté que via l'appareil auxiliaire.

Durant le reste de la phase de démarrage (seconde partie) donc jusqu'à la vitesse nominale, on alimentera le moteur à travers un transformateur par le procédé selon l'invention déjà décrit plus haut (tensions réduites prélevées sur des prises intermédiaires du transformateur).

Selon l'une des mises en oeuvre de l'invention, durant la seconde partie de la phase de démarrage, le moteur est alimenté par l'apport combiné d'énergie provenant de l'appareil auxiliaire et du transformateur, ce qui revient à laisser en service l'appareil auxiliaire durant toute la durée de la phase de démarrage.

Comme il apparaîtra clairement à l'homme du métier, l'appareil auxiliaire de lancement selon l'invention pourra comprendre plusieurs appareils de lancement élémentaires, selon les performances requises.

L'invention propose également un dispositif d'alimentation pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention, comprenant des premières lignes d'alimentation raccordant le moteur aux bornes des enroulements secondaires du transformateur, ce dispositif étant remarquable en ce qu'il comprend des deuxièmes lignes d'alimentation du moteur par des prises intermédiaires de ces enroulements et des moyens de commutation pour connecter sélectivement ces prises intermédiaires au moteur par les deuxièmes lignes et pour couper les premières lignes, pendant au moins une partie de

la phase de démarrage du moteur.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 est un schéma du dispositif d'alimentation suivant l'invention, et

- la figure 2 est un schéma électrique équivalent du dispositif de la figure 1, utile à la description du procédé suivant l'invention.

On se réfère à la figure 1 du dessin annexé où il apparaît que le dispositif d'alimentation suivant l'invention est alimenté, en courant triphasé par exemple, par un réseau R de distribution d'énergie électrique. Les enroulements primaires d'un transformateur principal T sont raccordés au réseau R et les enroulements secondaires de ce transformateur débitent du courant sur un jeu de barres J auxquelles sont connectés divers consommateurs d'énergie électrique (non représentés) tels qu'on en trouve dans des ateliers ou autres locaux industriels, et un moteur M tel que celui décrit en préambule de la présente description, pour l'entraînement d'un compresseur d'air par exemple. Comme on l'a vu plus haut, la présente invention trouve plus particulièrement application quand le moteur M absorbe une partie importante de la puissance totale de l'installation, soit plus de 20 % de cette puissance par exemple, comme c'est le cas quand le moteur entraîne un compresseur d'air formant partie d'une unité de séparation de gaz exploités dans les locaux industriels où sont installés les autres consommateurs électriques.

En régime permanent, le moteur M est alimenté directement par le jeu de barres J, par l'intermédiaire d'un jeu L_1 de premières lignes. Des moyens de commutation DJ_1, constitués par exemple par un triple disjoncteur, sont prévus sur les lignes du jeu L_1. Un démarrage direct du moteur avec une telle alimentation présenterait tous les inconvénients mentionnés plus haut quant à la perturbation du fonctionnement des autres consommateurs électriques raccordés au jeu de barres J.

Suivant la présente invention, on évite d'avoir recours aux moyens coûteux utilisés dans la technique antérieure pour pallier ces inconvénients, en alimentant le moteur M, pendant tout ou partie de la phase de démarrage, avec des tensions réduites prélevées sur des prises intermédiaires (P_1,P_2,P_3) des enroulements secondaires du transformateur principal T lui-même. Il est clair que ce procédé d'alimentation est particulièrement économique puisqu'il fait seulement appel à un jeu de deuxièmes lignes L_2 permettant de raccorder sélectivement, en phase de démarrage, le moteur M auxdites prises intermédiaires du transformateur T.

Il est clair que la position des prises supplémentaires (P_1,P_2,P_3) sur les enroulements secondaires du transformateur T doit être choisie de manière que le démarrage du moteur alimenté par ces prises ne fasse pas chuter la tension sur le jeu de barres en dessous d'une valeur qui empêcherait le fonctionnement des autres consommateurs électriques, prévus pour fonctionner normalement à une tension assignée U_a. En désignant par U_b la tension sur le jeu de barres en phase de démarrage, cette contrainte s'exprime par la relation :

$$U_b/U_a > k$$

k étant une constante.

Si, comme cela est courant, les consommateurs sont prévus pour fonctionner en présence d'une chute de tension d'alimentation de 15% maximum, on peut choisir k = 0,85.

Cette contrainte permet d'établir une première relation faisant intervenir le rapport de transformation à vide tr_0 du transformateur T lorsqu'il débite sur les prises intermédiaires P_1,P_2,P_3. En effet, si on se réfère au schéma électrique équivalent représenté à la figure 2, où Z_R,Z_T,Z_m sont respectivement les impédances du réseau, du transformateur T et du moteur en phase de démarrage, on peut écrire :

$$U_b/U_a = (Z_m/tr_0^2)/(Z_R + Z_T + Z_m/tr_0^2) \quad (1)$$

ce qui pose une première contrainte sur la valeur de tr_0 et donc sur la position des prises intermédiaires que le concepteur doit déterminer.

Par ailleurs, pour limiter la durée du temps de démarrage du moteur, et donc son échauffement, il faut que la tension U_m qui lui est appliquée en phase de démarrage soit supérieure à une valeur prédéterminée, en dessous de laquelle le temps mis pour vaincre les inerties freinant son arbre de sortie est considéré comme trop important. Cette contrainte s'exprime par la relation :

$$Um/Ua = \frac{Ub.tro}{Ua} > K' \quad (2)$$

k' étant une constante. A titre d'exemple, on peut choisir k' = 0,65.

Il reste au concepteur à déterminer, par des essais successifs, quelles valeurs de tr_0 satisfont à la fois aux relations (1) et (2) ci-dessus. Le concepteur peut essayer par exemple des valeurs de tr_0 comprises entre 0,55 et 0,75 et, préférablement, entre 0,6 et 0,65.

Le démarrage du moteur suivant le procédé selon l'invention s'opère alors comme suit, dans le cas d'une phase de démarrage s'effectuant purement au travers du transformateur (sans intervention d'un appareil auxiliaire). Comme représenté à la figure 1, des moyens de commutation constitués par un triple disjoncteur DJ_2 sont prévus sur les lignes du jeu L_2. Au démarrage, on ferme ce triple disjoncteur alors que le disjoncteur DJ_1 est ouvert. Une temporisation ou une détermination tachymétrique de la vitesse du moteur M commande ensuite séquentiellement l'ouverture de DJ_2 et la fermeture de DJ_1 pour établir l'alimentation en régime permanent du moteur. Ceci suppose que la ligne d'arbre entraînée par le moteur M peut supporter un creux de tension limitée, de 100 ms par exemple.

Si tel n'est pas le cas, à la fin de la phase de démarrage, le disjoncteur DJ_1 se ferme avant que DJ_2 ne s'ouvre. On peut alors prévoir sur les deuxièmes lignes du jeu L_2 un jeu d'inductances S_1, S_2, S_3 pour limiter le courant de court-circuit dans ces lignes puisqu'alors une partie des enroulements secondaires débitent du courant dans ces inductances. La fermeture de DJ_1 commande l'ouverture de DJ_2 et l'accélération du moteur se poursuit jusqu'à ce que la

vitesse nominale soit atteinte.

Il apparaît maintenant que la présente invention apporte bien les avantages annoncés. Il est à noter en outre que l'invention n'utilisant pas d'autotransformateur, permet de ne pas affecter la puissance de court-circuit du réseau, ce qui est particulièrement avantageux quand celle-ci est relativement faible, puisqu'une puissance du court-circuit insuffisante peut rendre le démarrage du moteur impossible. L'invention permet en outre d'assurer le démarrage du moteur avec une dépense d'énergie minimum.

Dans une installation où la puissance du court-circuit est faible, un autotransformateur de démarrage classique doit présenter des caractéristiques voisines de celles du transformateur principal pour limiter la chute de puissance de court-circuit du réseau et la chute de tension due à son impédance pendant le démarrage. La présente invention permet d'économiser le coût élevé d'un tel autotransformateur.

Les réalisations de l'invention, au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit:

1. Procédé d'alimentation d'un moteur électrique polyphasé, à travers un transformateur débitant sur un jeu de barres auxquelles sont connectés le moteur et d'autres consommateurs d'énergie électrique, ledit moteur absorbant à lui seul une puissance active supérieure ou égale à 20% de la puissance électrique installée, caractérisé en ce que, pendant au moins une partie de la phase de démarrage du moteur, on alimente celui-ci avec des tensions réduites prélevées sur des prises intermédiaires des enroulements secondaires du transformateur.

2. Procédé conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport de transformation à vide du transformateur sur chaque prise intermédaire est choisi pour que les rapports de tension U_b/U_a et U_m/U_a soient tous deux supérieurs à des valeurs prédéterminées respectives, U_b, U_m et U_a étant respectivement la tension sur le jeu de barres pendant le démarrage, la tension aux bornes du moteur pendant le démarrage et la tension assignée à partir de laquelle sont établies les performances du moteur et des consommateurs d'énergie.

3. Procédé conforme à la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits rapports sont choisis tels que:

$$U_b/U_a > 0{,}85$$
$$U_m/U_a > 0{,}65$$

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moteur est alimenté à travers ledit transformateur durant une seconde partie de la phase de démarrage, et en ce que durant une première partie de la phase de démarrage antérieure à la seconde partie, le moteur est entraîné par au moins un appareil auxiliaire actionné par un fluide sous pression.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la vitesse du moteur à la fin de ladite première partie est comprise entre 20 et 50% de sa vitesse nominale.

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que durant ladite seconde partie de la phase de démarrage, le moteur est alimenté exclusivement au travers dudit transformateur.

7. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que durant ladite seconde partie de la phase de démarrage, le moteur est alimenté par l'apport combiné d'énergie provenant dudit transformateur et dudit appareil auxiliaire.

8. Dispositif d'alimentation pour la mise en oeuvre du procédé conforme à la revendication 1, comprenant des premières lignes d'alimentation raccordant le moteur aux bornes des enroulements secondaires du transformateur, caractérisé en ce qu'il comprend des deuxièmes lignes d'alimentation du moteur par des prises intermédiaires de ces enroulements et des moyens de commutation pour connecter sélectivement ces prises intermédaires au moteur par les deuxièmes lignes et pour couper les premières lignes, pendant au moins une partie d'une phase de démarrage du moteur.

9. Dispositif conforme à la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens de commutation placés sur les deuxièmes lignes s'ouvrent après la fermeture des moyens de commutation placés sur les premières lignes, à la fin de la phase de démarrage du moteur.

10. Dispositif conforme à la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend des inductances de limitation de courant de court-circuit disposées en série avec les moyens de commutation placés sur les deuxièmes lignes.

11. Dispositif conforme à la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un appareil auxiliaire d'entraînement du moteur.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit appareil auxiliaire est une turbine à gaz ayant un arbre de sortie couplé à l'arbre du moteur via un dispositif d'embrayage.

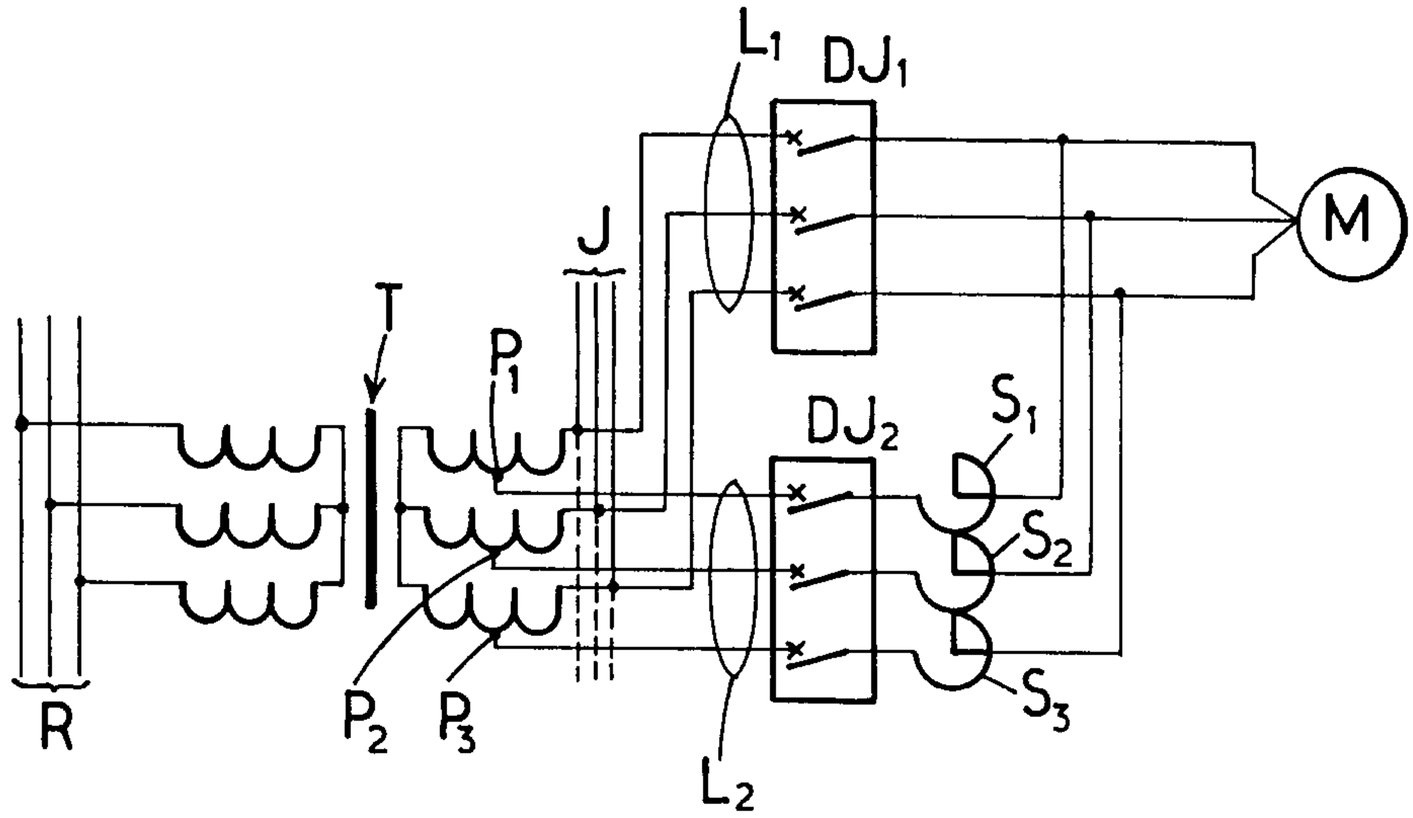
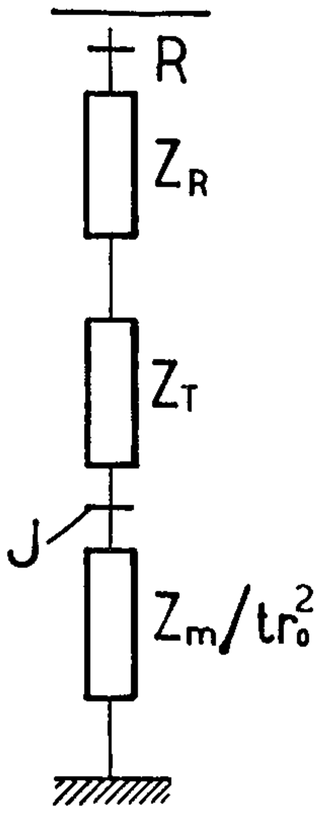


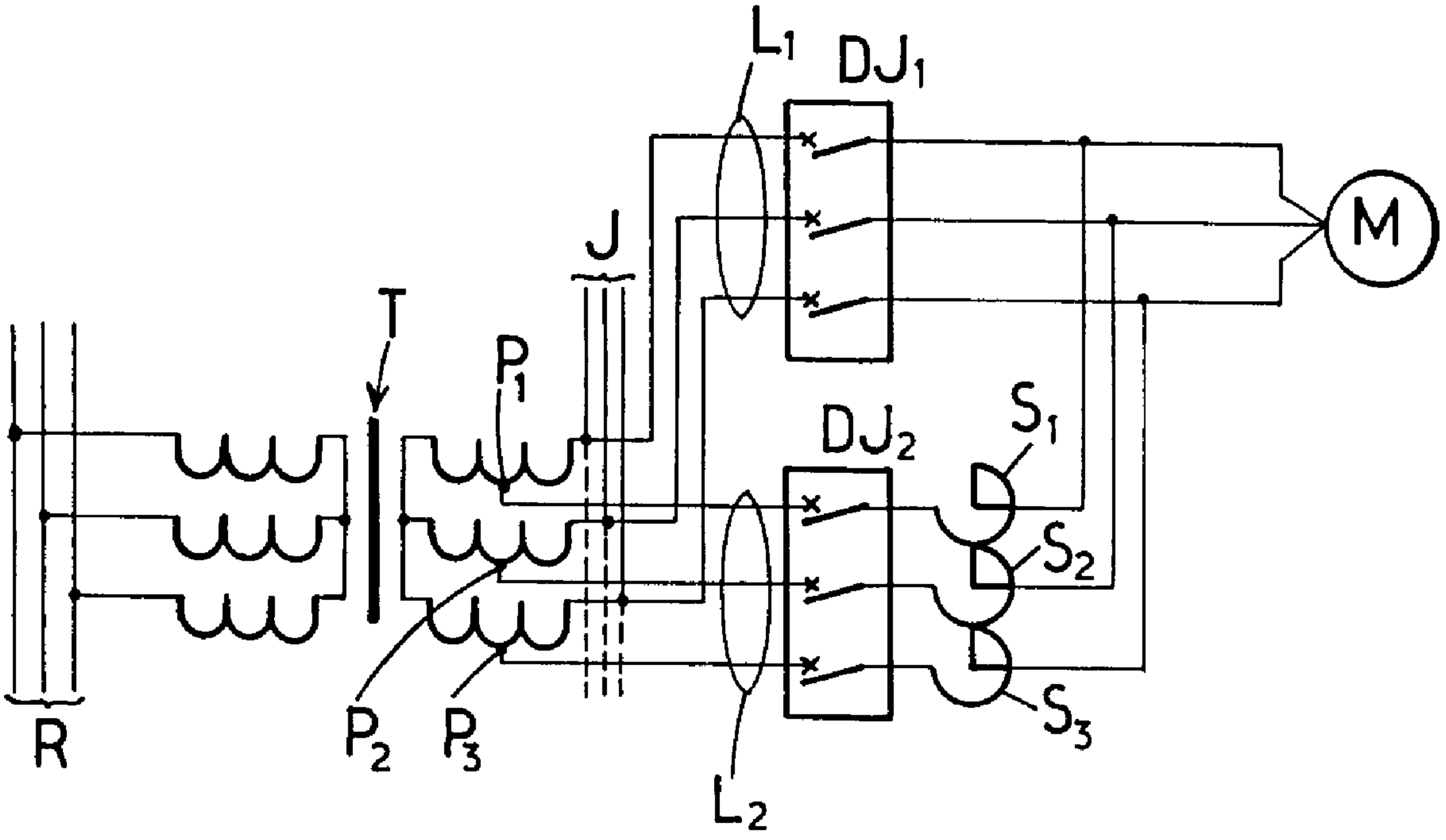
FIG.:1

FIG.:2



AGENTS DE BREVETS

Armbrey Gilroy Lemaitre


L1
DJ1
M
J
T
P1
DJ2
S1
S2
S3
R
P2
P3
L2