

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 544 672

②1 N° d'enregistrement national :

84 06463

⑤1 Int Cl³ : B 60 L 7/22; H 02 P 3/14.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 25 avril 1984.

③0 Priorité : US, 25 avril 1983, n° 488.091.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 43 du 26 octobre 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *GENERAL ELECTRIC COMPANY.* — US.

⑦2 Inventeur(s) : Joe Chester Lambert.

⑦3 Titulaire(s) :

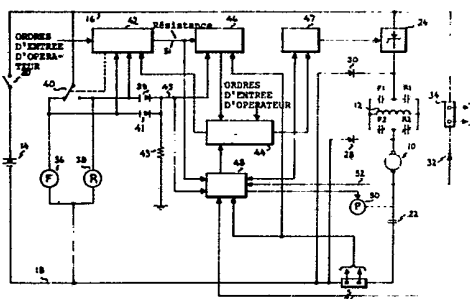
⑦4 Mandataire(s) : Alain Catherine.

⑤4 Circuit de commande de freinage électrique pour moteurs à courant continu.

⑤7 L'invention concerne le freinage électrique des moteurs
de traction.

Le circuit de commande de freinage électrique de l'invention
comporte notamment un circuit de commande de récupération
48 qui, dans un mode de freinage par résistance d'induit,
détecte l'apparition de conditions appropriées pour le freinage
par récupération et fait alors passer le circuit dans un mode de
freinage par récupération. Le circuit retourne dans un mode de
freinage par résistance d'induit dès que le freinage par récupé-
ration ne peut plus être effectué efficacement, et toutes les
transitions ont lieu progressivement et sans perte excessive de
l'énergie de récupération.

Application aux véhicules à traction électrique.



La présente invention concerne de façon générale le freinage électrique de moteurs à courant continu, et elle porte plus particulièrement sur des circuits destinés à commander efficacement le mode de freinage (c'est-à-dire 5 dynamique ou par récupération), pendant l'accomplissement du freinage électrique.

Les véhicules électriques, tels que des chariots élévateurs, des véhicules de transport en commun, etc, utilisent généralement un freinage électrique du moteur de 10 traction pour assister les freins mécaniques pour freiner le véhicule jusqu'à l'arrêt. Pour produire un effort de freinage électrique, on commande électriquement le moteur de traction de façon à le faire fonctionner en générateur électrique, entraîné par l'une au moins des roues du véhi- 15 cule roulant sur le sol. Ainsi, pendant le freinage, le moteur de traction convertit l'énergie cinétique du véhicule en énergie électrique.

On classe le mode de freinage électrique qui est utilisé en considérant la façon dont on utilise cette éner- 20 gie électrique. De façon générale, le freinage électrique est soit dynamique, auquel cas l'énergie électrique est dissipée sous forme de chaleur dans une charge résistive, soit par récupération, auquel cas l'énergie électrique est renvoyée vers la source d'énergie. Une sous-catégorie de 25 freinage dynamique est le freinage par résistance d'induit, dans lequel on utilise en tant que charge résistive la résistance d'induit du moteur elle-même.

Le freinage par récupération est évidemment pré-

férable si la source d'énergie est capable d'accepter l'énergie récupérée et de l'utiliser pour d'autres charges, ou si elle est capable de l'emmagasiner pour une utilisation ultérieure. Cependant, du point de vue de l'efficacité, le
5 courant produit par le moteur pendant la récupération doit être suffisamment élevé pour produire l'excitation nécessaire pour l'inducteur. Comme il bien connu, le courant produit est fonction du courant d'inducteur du moteur et de la vitesse de rotation de l'induit. Ainsi, lorsque la vitesse
10 du véhicule est réduite, l'aptitude du moteur à récupérer ou régénérer de l'énergie est également réduite. Pour un moteur de traction de type série dans lequel on utilise une fraction du courant d'induit régénéré en tant que courant d'inducteur pour le moteur, on atteint un point, à une cer-
15 taine vitesse, auquel la totalité de l'énergie récupérée est nécessaire pour maintenir seulement l'excitation de l'inducteur, et aucune énergie n'est disponible pour être renvoyée vers la source d'énergie. A cette vitesse, on doit arrêter le freinage par récupération et on doit déclencher
20 une certaine forme de freinage dynamique. Dans l'art antérieur, deux transitions ont été mises en oeuvre pendant le freinage du véhicule : une première transition de la propulsion au freinage par récupération, et une seconde transition du freinage par récupération au freinage dynamique.
25 Pour un moteur de traction électrique de type série, la transition d'un mode de propulsion à un mode de freinage électrique exige d'inverser le courant circulant dans l'enroulement d'inducteur ou dans l'enroulement d'induit. Le procédé généralement préféré consiste à inver-
30 ser les connexions de l'enroulement d'inducteur. Du fait que ceci inverse également la polarité de la tension sur l'induit (qui fonctionne alors en générateur), on utilise normalement un contacteur pour reconnecter l'induit dans la configuration appropriée pour le freinage par récupération.
35 Dans de nombreux cas, le flux résiduel dans les enroulements

d'induit et d'inducteur est suffisant pour produire le freinage par récupération dès que la nouvelle configuration de connexion a été établie. Cependant, dans d'autres cas, le flux résiduel peut avoir la mauvaise polarité ou peut être
5 insuffisant pour permettre l'établissement du freinage par récupération. De nombreux systèmes de l'art antérieur ont résolu ces problèmes par l'incorporation d'une résistance qui connecte l'induit à la source d'énergie (habituellement une batterie), d'une manière telle qu'un chemin de circula-
10 tion du courant traversant le moteur assure le déclenchement du freinage par récupération. Cette solution présente l'inconvénient qui consiste en ce qu'une résistance, quelle que soit sa valeur, peut consommer de cinq à dix pour cent de l'énergie de récupération disponible et créer des pro-
15 blèmes de dissipation de chaleur.

La demande de brevet US 288 083, déposée le 27 juillet 1981, décrit un procédé destiné à éliminer ces inconvénients. Dans ce procédé, une résistance commandée est connectée entre l'induit et la source d'énergie pour
20 définir un chemin initial de circulation du courant dans l'induit, afin d'établir la polarité appropriée du flux pour permettre le freinage par récupération. Bien que ceci constitue un progrès considérable par rapport à l'art antérieur, deux problèmes demeurent, même lorsqu'on emploie ce
25 procédé de déclenchement du freinage par récupération. Premièrement, du fait que la plupart des moteurs de traction ne sont pas équipés de tachymètres, il n'y a pas d'indication de la vitesse du moteur et un changement de direction à une vitesse nulle ou voisine de zéro entraîne une tentati-
30 ve de freinage par récupération. Ceci est suivi par un intervalle de temps pendant lequel il y a un couple insuffisant pour produire une accélération ou une décélération. Le seul courant du moteur pendant cet intervalle est celui que laisse circuler une résistance insérée pour l'excitation
35 initiale de l'inducteur. Le second problème consiste en ce

que l'utilisation d'une résistance pour établir initialement un courant d'inducteur et un flux minimaux conduit à une dissipation indésirable d'énergie.

D'autres problèmes apparaissent également avec les systèmes de commande de l'art antérieur pendant la transition ultérieure du freinage par récupération au freinage dynamique. Dans l'accomplissement de cette fonction de commutation, le courant d'inducteur est normalement réduit à zéro pour éviter de produire des courants transitoires élevés. Le courant d'inducteur réduit et le potentiel d'induit réduit permettent l'extinction progressive du couple de freinage et le relâchement des engrenages situés entre le moteur et les roues. Le rétablissement ultérieur du couple de freinage produit une réaction donnant un à-coup au véhicule. Même avec le dispositif décrit dans la demande de brevet US 288 083 précitée, il existe un court intervalle de temps, d'environ 50 ms, pendant lequel le régulateur qui commande la puissance appliquée au moteur est hors fonction.

Parmi les buts de l'invention, figure donc la réalisation d'un circuit de commande de freinage électrique pour un moteur de traction à courant continu qui supprime des inconvénients inhérents à l'art antérieur tels que ceux indiqués ci-dessus.

Plus précisément, un but de l'invention est de procurer un dispositif de commande de freinage électrique qui déclenche le freinage électrique dans un mode de freinage par résistance d'induit et qui ensuite, lorsque les conditions conviennent pour le freinage par récupération, provoque une transition vers le freinage par récupération, suivie par un retour à un mode de freinage par résistance d'induit chaque fois que le freinage par récupération ne peut plus être effectué efficacement, tout ceci étant accompli efficacement et sans à-coups, sans gaspillage excessif d'énergie récupérée.

Un circuit de commande de freinage électrique con-

forme à une forme préférée de l'invention comprend un premier élément de commande ayant pour action de faire passer le courant de freinage dans un circuit de courant de freinage par résistance d'induit, et d'accomplir le freinage dans le mode de freinage par résistance d'induit dès le déclenchement du freinage électrique ; un premier élément de détection destiné à contrôler le courant dans le circuit de freinage par résistance d'induit ; un second élément de détection destiné à contrôler le rapport entre l'intervalle de temps de conduction et l'intervalle de temps de blocage, ou rapport cyclique, du régulateur qui régule la puissance appliquée au moteur ; et un second élément de commande qui réagit à l'amplitude du courant de freinage par résistance d'induit et au rapport cyclique du régulateur de façon à commuter le courant de freinage vers un circuit de courant de freinage par récupération, chaque fois que le courant de freinage par résistance d'induit est supérieur à une valeur présélectionnée alors que le rapport cyclique du régulateur est simultanément inférieur à une valeur présélectionnée.

Le circuit de l'invention comprend en outre un troisième élément de détection destiné à contrôler le courant de freinage par récupération et un élément de commande supplémentaire qui réagit à l'amplitude du courant de récupération pour ramener le freinage dans un mode de fonctionnement utilisant la résistance d'induit, chaque fois que le courant de récupération est inférieur à des valeurs présélectionnées pendant des intervalles de temps présélectionnés.

La suite de la description se réfère aux dessins annexés qui représentent respectivement :

Figure 1 : un schéma synoptique simplifié d'un système de commande de moteur de traction comprenant un circuit de commande de freinage électrique conforme à l'invention ; et

Figure 2 : un schéma indiquant la façon dont on

doit disposer les figures 2A, 2B et 2C, qui constituent un schéma détaillé d'un circuit de commande de freinage électrique prévu pour l'utilisation dans le système de commande de la figure 1.

5 On voit sur la figure 1 un moteur de traction série qui comprend un enroulement d'induit 10 et un enroulement d'inducteur 12. Une structure mécanique, non représentée, permet d'accoupler par exemple l'induit 10 aux roues motrices d'un véhicule approprié. Les enroulements d'induit 10 et d'inducteur, portant respectivement les références 10 et 12, peuvent être alimentés par une source d'énergie 14, consistant en une batterie, qui fournit du courant par l'intermédiaire de lignes omnibus d'alimentation positive et négative, portant respectivement les références 16 et 18. Un 15 interrupteur marche-arrêt 20 connecté en série avec la ligne omnibus positive 16 permet d'appliquer au système l'énergie de la batterie ou d'interrompre l'application de cette énergie.

D'une manière classique, un jeu de contacts 20 ouverts au repos, 22, et un circuit de régulation de puissance 24 sont connectés en série avec les enroulements 10 et 12 du moteur. Le régulateur 24 est connecté entre la ligne omnibus positive 16 et l'enroulement d'inducteur 12 ; les contacts 22 sont connectés entre la ligne omnibus négative 25 18 et l'enroulement d'induit 10. Le circuit de régulation de puissance 24 est de préférence un circuit de commande de rapport de temps pour un circuit à découpage d'un type bien connu dans la technique. L'enroulement d'inducteur 12 peut être connecté en sens avant ou en sens arrière, au moyen 30 d'un ensemble de contacts F1, F2, R1 et R2. Un shunt de courant 26 est branché en série entre le moteur et la source d'énergie 14, en tant que capteur destiné à fournir un signal représentatif de la valeur du courant du moteur. Le circuit de puissance du moteur comprend également une diode 35 de freinage par résistance d'induit, 28, qui est connectée

entre la ligne omnibus d'alimentation 18 et le point de connexion situé entre l'induit 10 du moteur et l'enroulement d'inducteur 12. Une diode d'absorption du courant transitoire, 30, est connectée entre la ligne omnibus d'alimentation 18 et le point de connexion entre l'enroulement d'inducteur 12 et le circuit régulateur de puissance 24. On utilise la diode d'absorption du courant transitoire, 30, pour établir un circuit pour le courant inductif du moteur lorsque le régulateur 24 est à l'état non conducteur. Une diode de freinage par récupération 32 est connectée entre le point de connexion entre les contacts 22 et l'induit 10, par l'intermédiaire d'un shunt de courant 34, et la ligne omnibus d'alimentation positive 16. Le shunt de courant 34 fournit un signal représentatif de la valeur du courant de freinage par récupération.

Les contacts de marche avant et de marche arrière associés à l'enroulement d'inducteur 12 sont respectivement commandés par des bobines de contacteur de marche avant et de marche arrière, 36 et 38, qui sont connectées entre les lignes omnibus d'alimentation 16 et 18, par l'intermédiaire d'un commutateur marche avant/marche arrière à plusieurs positions, 40. Le commutateur 40 est commandé par un circuit logique de sens et de freinage 42, sous la dépendance d'ordres d'entrée appliqués par l'opérateur, pour déterminer le sens de rotation du moteur et pour indiquer la nécessité d'un freinage électrique. Les diodes 39 et 41, en association avec la résistance 43, forment un circuit OU qui réagit à la position du commutateur 40 de façon à appliquer un signal NEUTRE (qui est un signal de niveau logique zéro ou de niveau de tension bas) sur la ligne 45 lorsque ni la bobine 36 ni la bobine 38 n'est excitée. Il est important de noter qu'en changeant de position, le commutateur 40 passe par une position intermédiaire dans laquelle un signal NEUTRE est toujours produit lorsqu'un changement de sens (c'est-à-dire un freinage électrique) est demandé.

Un circuit d'accélération commandée 44 réagit également aux ordres d'entrée d'opérateur en appliquant des signaux de commande à un dispositif de commande du pourcentage d'intervalle de temps de conduction, 47, qui détermine à son tour le rapport cyclique (rapport entre l'intervalle de temps de conduction et l'intervalle de temps de blocage) du régulateur 24. Le rapport cyclique du régulateur 24 détermine ainsi la valeur moyenne du courant qui traverse les enroulements 10 et 12 du moteur. Un circuit de limite de courant 46 reçoit le signal NEUTRE et un signal de courant du moteur provenant du shunt de courant 26, et il agit en interaction avec le circuit d'accélération commandée 44 de façon à limiter et à réguler le courant du moteur. Le circuit d'accélération commandée 44, le circuit de limite de courant 46 et le circuit logique de sens et de freinage 42 sont pratiquement identiques aux circuits correspondants qui sont décrits de façon plus détaillée dans le brevet US 3 958 163.

Un circuit de commande de récupération 48 commande de l'excitation de la bobine de contacteur 50 qui détermine l'état des contacts 22, c'est-à-dire s'ils sont ouverts ou fermés. En outre, pendant le fonctionnement dans un mode de freinage électrique, l'état des contacts 22 détermine si ce freinage est accompli dans un mode de résistance d'induit ou dans un mode de récupération. Pendant le fonctionnement dans le mode de propulsion, qui est le mode normal, le contacteur 50 est excité et les contacts 22 sont fermés.

Le fonctionnement du système de commande de la figure 1, comprenant le circuit de commande de freinage, est le suivant.

Pendant le fonctionnement en marche normale, en avant ou en arrière, l'interrupteur 20 est fermé de façon à alimenter les enroulements d'induit et d'inducteur, portant respectivement les références 10 et 12, ainsi que le régulateur de puissance 24. Sous l'effet d'un ordre d'entrée de

l'opérateur qui est appliqué au circuit logique de sens et de freinage 42, le commutateur 40 est déplacé vers une position dans laquelle il excite soit la bobine de contacteur de marche avant 36, soit la bobine de contacteur de marche 5 arrière 38, en fonction du sens qui est sélectionné par l'opérateur. Un second ordre d'entrée de l'opérateur (provenant par exemple d'une pédale d'accélérateur), appliqué au circuit d'accélération commandée 34, détermine la vitesse de rotation et la puissance du moteur. Ainsi, le circuit 10 d'accélération commandée 44, agissant en association avec le dispositif de commande de pourcentage d'intervalle de temps de conduction, 47, détermine le rapport cyclique du régulateur 24 sous la dépendance d'un ordre de l'opérateur.

L'opérateur déclenche le freinage électrique au 15 moyen du circuit logique de sens et de freinage 42, en inversant la position du commutateur 40. A son tour, ceci désexcite la bobine de contacteur 36 ou 38 qui était précédemment excitée, et excite celle qui était précédemment désexcitée. La transition du commutateur 40 d'une position 20 à l'autre fait apparaître un signal NEUTRE sur la ligne 45. Les contacts F1, F2, R1 et R2 réagissent de façon correspondante, ce qui entraîne finalement l'inversion du sens du courant dans l'enroulement d'inducteur 12, et produit donc une inversion du flux inducteur du moteur. A un certain 25 point, le couple de freinage devient proportionnel à la commande d'accélérateur de l'opérateur, et si le freinage électrique est poursuivi, la propulsion commence dans le sens opposé.

Le fonctionnement du circuit de commande de freina- 30 ge est déclenché par un signal "RESISTANCE" qui est émis par le circuit logique de sens et de freinage 42. Le signal RESISTANCE apparaît sur la ligne 51 à la suite du déclenchement du freinage. Le circuit de commande fonctionne d'une manière telle qu'immédiatement après le déclenchement du 35 freinage électrique, le circuit de commande de récupération

48 fait circuler le courant de freinage dans un circuit de freinage par résistance d'induit. Ceci est accompli en maintenant les contacts 22 fermés immédiatement après le déclenchement du freinage. Le courant de freinage par résistance d'induit part de la borne inférieure de l'induit 10 et il passe par les contacts 22, le shunt de courant 26 et la diode de freinage par résistance d'induit 28, pour revenir à la borne supérieure de l'enroulement d'induit 10.

Pendant le mode de freinage par résistance d'induit, le circuit de commande de récupération 48 contrôle des signaux provenant du shunt de détection de courant 26 et du dispositif de commande de pourcentage d'intervalle de temps de conduction, 47. Le dispositif de commande de pourcentage d'intervalle de temps de conduction, 47, fonctionne ainsi à la manière d'un capteur fournissant un signal représentatif du rapport entre l'intervalle de temps de conduction et l'intervalle de temps de blocage pour le régulateur 24.

Dans le cas où le courant de résistance d'induit est supérieur à une valeur présélectionnée, alors que, simultanément, le rapport cyclique du régulateur 24 est inférieur à une valeur présélectionnée, le circuit de commande de récupération 48 désexcite la bobine de contacteur 50 et ouvre les contacts 22. Le courant de freinage que génère l'induit 10 est alors commuté vers un circuit de freinage par récupération qui comprend la diode de freinage par récupération 32 et le capteur de courant de récupération 34. Il y a ainsi une transition vers le mode de freinage par récupération, chaque fois que les conditions sont telles que ce mode de freinage peut être effectivement maintenu, ces conditions étant déterminées par le pourcentage de temps de conduction du régulateur 24 et par le niveau du courant d'induit. Au contraire, si le freinage par récupération ne peut pas être accompli effectivement, le fonctionnement se poursuit dans le mode de résistance d'induit

jusqu'à ce que l'inversion du sens de rotation du moteur soit accomplie.

A un certain moment, la vitesse du moteur diminue jusqu'au point auquel le couple désiré du moteur ne peut pas être maintenu, même avec le régulateur 24 fonctionnant avec un rapport cyclique de 100%. A ce point, il devient alors nécessaire de commuter à nouveau l'opération de freinage vers le mode de résistance d'induit.

On effectue ceci au moyen du circuit de commande de récupération 48 qui détecte le courant de récupération circulant dans le capteur 34 et qui excite la bobine de contacteur 50 chaque fois que le courant de récupération est inférieur à une première valeur de courant présélectionnée pendant un premier intervalle de temps présélectionné, ou est inférieur à une seconde valeur de courant présélectionnée pendant un second intervalle de temps présélectionné. On choisit la seconde valeur de courant présélectionnée de façon qu'elle soit inférieure à la première valeur de courant ; et on choisit le second intervalle de temps présélectionné de façon qu'il soit plus court que le premier intervalle de temps. Il est cependant important de noter que le courant de freinage continue à circuler dans le circuit de récupération jusqu'à ce que les contacts 22 soient réellement fermés. Ceci évite en particulier un problème présent dans certains systèmes de l'art antérieur, dans lesquels il est nécessaire que le régulateur 24 soit à l'état inactif pendant une certaine durée pour permettre le changement de position des contacts. L'état ouvert ou fermé des contacts 22 est contrôlé par une ligne 52.

Une fois que le circuit est retourné dans le mode de résistance d'induit avec les contacts de contacteur 22 fermés, une valeur de courant minimale prédéterminée est établie et cette valeur peut ensuite être augmentée jusqu'à une valeur supérieure de courant de résistance d'induit.

Le circuit de commande de récupération 48 remplit

donc un certain nombre de fonctions de commande dans la commande du mode de fonctionnement de freinage. Ces fonctions sont les suivantes : (1) il fait circuler le courant de freinage dans le circuit de freinage par résistance d'induit 5 dès le déclenchement du freinage électrique ; (2) il désexcite la bobine de contacteur 50, ce qui commute le courant de freinage du circuit de freinage par résistance d'induit vers le circuit de freinage par récupération, chaque fois que le courant de freinage par résistance d'induit est suffisamment 10 élevé et que le rapport cyclique du régulateur 24 est suffisamment bas ; et (3) il excite à nouveau la bobine 50 chaque fois que le courant de freinage par récupération demeure inférieur à des niveaux de courant présélectionnés pendant des intervalles de temps excessifs.

15 En considérant maintenant conjointement les figures 2A, 2B et 2C, on note que le pourcentage d'intervalle de temps de conduction (rapport cyclique) du circuit de commutation de puissance 24, qui commande l'alimentation de l'induit 10 et de l'enroulement d'inducteur 12 du moteur, 20 est directement lié à la valeur du signal de tension qui est appliqué à la borne d'entrée de l'oscillateur 60. L'oscillateur 60 est du type conçu de façon à produire un signal de sortie sous forme d'impulsions dont la largeur d'impulsions est proportionnelle au niveau de tension 25 d'entrée de l'oscillateur, et il peut par exemple être du type représenté dans le brevet US 3 843 912. Lorsque le fonctionnement est dans le mode de propulsion ou dans le mode de freinage par résistance d'induit, le signal de tension qui est appliqué à l'oscillateur 60 provient d'un circuit 30 de commande d'accélérateur qui comprend un transistor 62, un condensateur 64, une résistance fixe 66 et un potentiomètre 68. Le potentiomètre 68 est connecté à l'une de ses extrémités à une source de tension continue, non représentée, et il peut également être accouplé mécaniquement, 35 par exemple, à une commande d'accélérateur, comme une péda-

le, ayant pour but de produire une accélération commandée du moteur de traction et du véhicule associé. Dans les conditions de fonctionnement normales, le courant moyen que laisse passer le régulateur 24 est proportionnel à la position du
5 curseur du potentiomètre 68 ; lorsque ce curseur est avancé vers l'extrémité du potentiomètre qui est connectée à la source de tension, le régulateur 24 applique davantage de puissance au moteur, ce qui augmente la vitesse et/ou le couple.

10 La valeur de la tension qui est appliquée à l'oscillateur 60 est contrôlée par un amplificateur à seuil 70 qui, par l'intermédiaire d'une résistance 72, applique un signal au circuit logique de sens et de freinage 42, pour annuler le signal RESISTANCE (qui, comme décrit ci-dessus, a
15 été produit par le circuit logique de sens et de freinage 42 au moment du déclenchement du freinage), chaque fois que le rapport cyclique du régulateur 24 est supérieur à un niveau présélectionné, par exemple 12 à 15%. Cependant, du fait que le rapport cyclique peut être plus élevé pendant le freinage
20 par récupération, l'effet du signal d'annulation du signal RESISTANCE est bloqué lorsqu'on est dans le mode de freinage par récupération. Des moyens permettant d'obtenir cet effet sont décrits ci-après de façon plus complète.

Comme on l'a expliqué en relation avec la figure
25 1, le déclenchement du freinage électrique fait apparaître sur des lignes 45 (en trois emplacements sur les figures 2A-2C) un signal NEUTRE qui a pour effet d'initialiser les circuits des figures 2A-2C pour le fonctionnement dans le mode de freinage. Immédiatement à la suite du signal NEUTRE, qui
30 est un signal logique zéro de niveau bas, le signal RESISTANCE est appliqué aux lignes 51 (en deux emplacements sur les figures 2A-2C). Le signal RESISTANCE est un signal logique un correspondant à une tension positive, de niveau haut.

Ainsi, au début du freinage électrique, le signal
35 RESISTANCE est appliqué par la résistance 74 à une entrée

d'une porte NON-ET 76. L'autre entrée de la porte NON-ET 76 reçoit, par la résistance 78, le signal de sortie combiné du comparateur de rapport cyclique 80 et du comparateur de courant du moteur, 81. Les bornes de sortie de ces comparateurs, 5 80 et 81, sont reliées ensemble et sont ramenées vers une source de tension positive par l'intermédiaire d'une résistance 82. Les comparateurs 80 et 81 ont pour effet de produire une fonction logique ET des signaux de sortie. En effet, un signal logique un, ou un signal de niveau positif 10 relativement élevé, n'est produit et appliqué à la porte NON-ET 76 que si les signaux de sortie des deux comparateurs 80 et 81 sont hauts. Comme on l'expliquera, ceci se produit chaque fois que le rapport cyclique du régulateur 84 est inférieur à une valeur présélectionnée et que le courant du 15 moteur est supérieur à une valeur présélectionnée.

Pour parvenir à ce résultat, le comparateur de rapport cyclique 80 reçoit sur sa borne d'entrée inverseuse une tension, provenant de l'émetteur du transistor 62, qui est proportionnelle au rapport cyclique du régulateur 24. 20 Cette tension est comparée à une tension de référence appliquée à la borne d'entrée non inverseuse du comparateur 80, de façon que le signal de sortie du comparateur soit positif (niveau haut) chaque fois que la tension représentative du rapport cyclique est inférieure à la tension de 25 référence. De façon correspondante, la borne d'entrée non inverseuse du comparateur de courant du moteur, 81, reçoit un signal représentatif de la valeur du courant du moteur qui est produit. Si le signal de courant du moteur est supérieur à la tension de référence qui est appliquée sur la 30 borne inverseuse du comparateur 81, le signal de sortie du comparateur 81 est positif. Ainsi, le signal que les comparateurs 80 et 81 appliquent à la porte NON-ET 76 est haut si, et seulement si, le rapport cyclique du régulateur 24 est suffisamment faible et le courant du moteur est suffisamment élevé. On peut évidemment obtenir le signal de cou- 35

rant du moteur au moyen du shunt de courant 26. Comme toutes les autres tensions de référence envisagées ou représentées ici, les tensions de référence appliquées aux bornes d'entrée des comparateurs 80 et 81 sont des points de référence en courant continu indépendants et très stables, et chacune de ces tensions peut être obtenue par un certain nombre de techniques bien connues, à partir de la source d'énergie du système.

Avec des signaux de niveau haut sur les deux bornes d'entrée, la sortie de la porte NON-ET 76 est au niveau logique zéro. Ceci produit le signal de blocage mentionné ci-dessus, indiquant que le freinage est dans le mode de récupération. Le signal de blocage est appliqué par la diode 85 au circuit logique de sens et de freinage 42. Le signal de sortie de la porte NON-ET 76 est également appliqué à une entrée d'une seconde porte NON-ET 84 dont l'autre entrée est connectée à la source de tension d'alimentation positive. Avec un signal d'entrée de niveau bas provenant de la porte NON-ET 76, la sortie de la porte NON-ET 84 est forcée au niveau haut. Un inverseur 86 inverse ce signal de sortie pour donner un niveau bas, ce qui provoque la désexcitation de la bobine de contacteur 50 et l'ouverture des contacts 22 (figure 1). Le courant de freinage est alors commuté vers le circuit de courant de freinage par récupération, comme décrit ci-dessus en relation avec la figure 1. Une diode de réaction 88 a pour effet de verrouiller les portes NON-ET 76 et 84 aussi longtemps que le signal RESISTANCE demeure au niveau haut.

Le comparateur de contacts 90 contrôle l'état (ouvert ou fermé) des contacts de contacteur 22. Dans ce but, le contact qui est connecté directement à l'induit du moteur est relié par la ligne 52 à l'entrée non inverseuse du comparateur 90, par l'intermédiaire d'un circuit classique de suppression du rebondissement des contacts, 92, et d'une diode 94. Lorsque les contacts sont fermés, la tension

sur la ligne 52 est pratiquement au potentiel de la masse ;
cependant, lorsque les contacts sont ouverts, la tension est
à un certain niveau élevé. Ainsi, dans le mode de freinage
par récupération, une tension positive est appliquée de
5 façon à polariser en inverse la diode 94 qui permet alors
l'application d'une tension positive à l'entrée non inver-
seuse du comparateur 90, par l'intermédiaire de la résis-
tance 96. Du fait que cette tension positive est supérieure
à la tension de référence sur la borne d'entrée inverseuse
10 du comparateur 90, la sortie du comparateur de contacts 90
est forcée à un niveau haut positif chaque fois que les con-
tacts de contacteur 22 sont ouverts. Cette condition indique
le freinage dans le mode de récupération. Le niveau haut sur
la borne de sortie du comparateur 90 a pour effet de polari-
15 ser en inverse la diode 98, qui commande le fonctionnement
du transistor 100. La borne d'émetteur du transistor 100 est
connectée à l'oscillateur 60. Sous l'effet d'un signal de
sortie de niveau haut provenant du comparateur 90, un signal
logique zéro apparaît à la sortie de l'inverseur 101, ce qui
20 bloque la conduction du transistor 62, par l'intermédiaire
de la diode 102 et de la résistance 103. Ainsi, pendant le
mode de freinage par résistance d'induit, ou pendant le mode
de fonctionnement de marche normale, le transistor 100 est
bloqué et le transistor 62 commande l'oscillateur 60. Au
25 contraire, pendant le freinage par récupération, le transis-
tor 62 est bloqué et le transistor 100 commande l'oscilla-
teur 60.

Pendant le fonctionnement dans le mode de freinage
par récupération (c'est-à-dire lorsque le transistor 100
30 n'est pas bloqué par le signal appliqué par l'intermédiaire
de la diode 98), le transistor 100 est commandé par le com-
parateur 104 dont la sortie est connectée à la base de ce
transistor par l'intermédiaire d'une résistance 106. Un
signal de sortie positif de niveau haut provenant du compa-
35 rateur 104 débloquent le transistor 100. L'entrée non inverseu-

se du comparateur 104 est connectée à une source de tension de référence, tandis que l'entrée inverseuse est connectée par la résistance 108 au curseur d'un potentiomètre de limite de courant de récupération, 110, et par la résistance 112 à la borne de collecteur du transistor 114. Le potentiomètre de limite de courant 110 reçoit le signal de sortie de l'amplificateur différentiel 116 qui reçoit sur son entrée un signal de courant provenant du capteur de courant de récupération 34. La tension qui apparaît aux bornes du potentiomètre 110 et qui est appliquée à son curseur est donc proportionnelle au courant de freinage par récupération. Une tension similaire est produite aux bornes du potentiomètre 118 qui est connecté en parallèle sur le potentiomètre 110. On envisagera ci-après de façon plus complète la fonction du potentiomètre 118. Une résistance série 120 connecte en commun les potentiomètres 118 et 110 à la masse.

Pendant le fonctionnement, le comparateur 104 compare à une tension de référence le signal de courant de freinage par récupération qui est produit sur le curseur du potentiomètre 110. Chaque fois que le signal de courant de récupération est supérieur à la tension de référence, la sortie du comparateur 104 est à un niveau bas et le transistor 100 est bloqué. Le blocage du transistor 100 a pour effet de bloquer le transistor 60 et, par conséquent, le régulateur de puissance 24 est mis hors fonction. Lorsque le signal de courant de récupération tombe au-dessous de la valeur de référence, au niveau du comparateur 104, la sortie du comparateur devient positive, le fonctionnement est inversé et le régulateur de puissance 24 est commandé de façon à fonctionner avec un certain rapport cyclique. La partie du circuit qu'on vient de considérer fonctionne donc en régulateur de courant de récupération lorsque le circuit est dans le mode de freinage par récupération.

Pour réagir à la position de l'accélérateur (c'est-à-dire la position du potentiomètre 68), le transis-

tor 114 élève ou abaisse la limite de courant qui est appliqué à l'entrée inverseuse du comparateur 104. La tension qui est prélevée sur le potentiomètre 68 par le curseur de celui-ci est appliquée par l'amplificateur 122 et la résistance 123 5 à la borne de base du transistor 114, en tant que signal de commande. Ce signal est obtenu en soustrayant un signal de polarisation par rapport au signal d'accélérateur, dans l'amplificateur 122, de façon que lorsque le curseur du potentiomètre 68 est déplacé vers l'extrémité recevant une 10 tension positive, la tension appliquée à la base du transistor 114 augmente. Ceci a pour effet d'augmenter la limite de courant et d'augmenter le cycle de fonctionnement du régulateur de puissance 24 lorsque la commande d'accélérateur est augmentée.

15 La partie du circuit qui est représentée sur la figure 2C comprend un circuit de commande de temporisateur (qui est un élément fonctionnel du circuit de commande de récupération 48 de la figure 1) qui réagit au courant de freinage par récupération en ramenant le fonctionnement au 20 mode de freinage par résistance d'induit, chaque fois que le courant de freinage par récupération demeure inférieur à des valeurs présélectionnées pendant des intervalles de temps présélectionnés.

En considérant spécialement la figure 2C, on note 25 que le signal RESISTANCE (qui est un niveau de tension positif) appliqué à la ligne 51, est également appliqué à un réseau temporisateur RC qui comprend une résistance 124 et un condensateur 126. Le signal RESISTANCE tend à charger le condensateur 126 de façon que la tension au point de connexion de la résistance 124 et du condensateur 126 augmente 30 au cours du temps. Cette tension est appliquée à l'entrée inverseuse du comparateur 128 et elle est comparée à la tension de référence qui est appliquée à l'entrée non inverseuse. Le circuit émetteur-collecteur du transistor 130 et 35 la résistance 132 sont connectés en parallèle sur le conden-

sateur 126. Fonctionnellement, si le transistor 130 est dans un état bloqué, le condensateur 126 peut être chargé par le signal RESISTANCE ; cependant, si le transistor 130 est dans un état conducteur, le condensateur 126 est shunté et il ne
5 peut pas se charger. Le transistor 130 est commandé par des signaux appliqués sur sa borne de base qui est connectée à la source de tension positive par les résistances 134 et 136. Le point de connexion des résistances 134 et 136 est connecté par la diode 138 à la ligne de signal NEUTRE 45, et
10 par la diode 140 à la sortie du comparateur de limite de courant de récupération 104 (figure 2A). Chaque fois que la limite de courant de récupération est dépassée, le signal de sortie du comparateur 104 passe à zéro et le transistor 130 devient conducteur, ce qui court-circuite et décharge le
15 condensateur 126. Lorsque le courant de récupération tombe à nouveau au-dessous de la valeur limite, le transistor 130 se bloque et le condensateur 126 est libre de commencer à nouveau à se charger. Ainsi, chaque fois que le courant de récupération est inférieur à la limite présélectionnée (qui
20 est déterminée par le comparateur 104, le réglage du potentiomètre 110 et la position du potentiomètre 68), le condensateur 126 se charge. Finalement, si le condensateur 126 n'est pas déchargé par le fait que la limite de courant de récupération est atteinte, la tension de référence qui est
25 appliquée à l'entrée non inverseuse du comparateur 128 est dépassée. Ceci fait alors passer à un niveau bas le signal de sortie du comparateur 128, qui est appliqué à l'entrée inverseuse du comparateur 144 par l'intermédiaire de la résistance 142. Le comparateur 144 fonctionne en élément de
30 mémorisation, de façon que le signal de niveau bas présent sur son entrée fasse apparaître un niveau de tension positif sur sa borne de sortie. Ce signal de niveau positif est ensuite appliqué par la diode 146 à la base du transistor 130, ce qui le maintient dans l'état bloqué.

35 Le signal logique zéro (c'est-à-dire le niveau

bas) qui est produit à la sortie du comparateur 128 tire vers un niveau logique zéro (par l'intermédiaire de la diode 148) la ligne de signal RESISTANCE, connectée à l'entrée inférieure de la porte NON-ET 76 (figure 2B), ce qui a pour effet d'exciter à nouveau la bobine de contacteur 50 (par l'intermédiaire de la porte NON-ET 84 et de l'inverseur 86), de refermer les contacts du contacteur et de ramener le freinage au mode de résistance d'induit. Le comparateur 128 demeure verrouillé de façon que le freinage ne puisse pas retourner au mode de récupération, sauf si le fonctionnement est passé tout d'abord par la position neutre. Le signal NEUTRE est appliqué par la ligne 45 à l'entrée non inverseuse du comparateur 144, par l'intermédiaire de la diode 150, pour déverrouiller les comparateurs 128 et 144 et pour permettre au transistor 130 de redevenir conducteur. Les résistances 152 et 154, connectées respectivement aux entrées inverseuse et non inverseuse du comparateur 144, et recevant en commun la tension de référence qui est appliquée à l'entrée non inverseuse du comparateur 128, ont des valeurs choisies pour faire en sorte que le comparateur 144 soit restauré par l'application du signal NEUTRE. Le signal NEUTRE est également appliqué par une diode 138 au transistor 130, de façon que le condensateur 126 soit déchargé au début du freinage. En outre, le signal NEUTRE est transmis par un circuit de retard classique 151 à l'entrée inférieure de la porte NON-ET 76. Le signal NEUTRE est donc légèrement retardé avant son application à la porte NON-ET 76. Ceci protège les contacts 22 contre des effets de formation d'arc, du fait qu'on laisse les contacts d'inducteur F1, F2, R1 et R2 s'ouvrir avant que la bobine de contacteur 50 ne soit excitée.

Le circuit qu'on vient de décrire assure le retour au freinage par résistance d'induit si le courant de récupération est inférieur à une valeur présélectionnée pendant un premier intervalle de temps présélectionné. Cependant, il

est en outre souhaitable de retourner plutôt au freinage par résistance d'induit au cas où le courant de récupération tombe au-dessous d'une valeur encore plus faible. On réalise ceci en appliquant à l'entrée inverseuse du comparateur 156 le second signal de courant de récupération, provenant du curseur du potentiomètre 118. On applique le signal de sortie du comparateur de contacts 90 à l'entrée non inverseuse du comparateur 156, par l'intermédiaire de la diode 158, pour bloquer le comparateur 156 ou pour permettre la comparaison du second signal de courant de récupération avec la tension de référence (appliquée à l'entrée non inverseuse par l'intermédiaire de la résistance 160), selon que les contacts de contacteur sont ouverts ou fermés. Chaque fois que le signal de courant de récupération tombe au-dessous de la valeur de référence, et si le comparateur 156 n'est pas bloqué, ce comparateur applique une charge supplémentaire au condensateur 126 (par l'intermédiaire de la résistance 162 et de la diode 164) ce qui fait que la tension produite aux bornes du condensateur 126 atteint plus rapidement la tension qui déclenche le comparateur 128. Une fois que celui-ci est déclenché, le fonctionnement est le même que celui décrit ci-dessus et le freinage en mode de résistance d'induit est rétabli.

Une limitation de courant est assurée par un circuit qui est connecté à l'émetteur du transistor 62, par l'intermédiaire de la diode 170 et de la résistance 172, pour commander l'oscillateur 60. Le circuit de limite de courant comprend un amplificateur différentiel 174 ayant des bornes d'entrée connectées de façon à contrôler la tension qui est développée aux bornes du shunt de courant 26. La borne de sortie de l'amplificateur différentiel 174 est connectée à une résistance 176, à la borne d'entrée inverseuse du comparateur 178 et, par une seconde résistance 180, à une borne d'entrée inverseuse d'un comparateur 182. L'entrée non inverseuse du comparateur 178 est connectée à une source de

tension de référence positive. De façon similaire, une référence de tension est connectée à l'entrée non inverseuse du comparateur 182 par l'intermédiaire d'une résistance 184. Les bornes de sortie des comparateurs 178 et 182 sont connectées en parallèle à la cathode de la diode 170, qui est également connectée par la résistance 186 à une source de tension de polarisation (non représentée). Un circuit de transmission sélective, comprenant un inverseur 188 et une diode 190, connectés en série entre la borne de signal RESISTANCE, 51, et la borne d'entrée inverseuse du comparateur 178, et comprenant en outre une diode 192 connectée entre la borne d'entrée RESISTANCE, 51, et l'entrée inverseuse du comparateur 182, fournit un moyen pour sélectionner le comparateur 178 ou le comparateur 182 en tant que composant de limitation du courant, selon que le fonctionnement correspond à un mode de marche normale ou à un mode de freinage.

Le comparateur 182 entre également en jeu à la reprise du freinage par résistance d'induit (c'est-à-dire chaque fois que les contacts de contacteur 22 de la figure 1 sont refermés). La sortie de l'inverseur 101 est connectée à l'entrée non inverseuse du comparateur 182 par l'intermédiaire de la diode 194 et de la résistance 196. Un condensateur 198 est également connecté à la sortie du comparateur 182. Dans le fonctionnement dans le mode de freinage par récupération, la sortie de l'inverseur 101 est fondamentalement au potentiel de la masse (zéro logique). Ceci maintient la tension aux bornes du condensateur 198 à un niveau bas, ce qui donne un niveau bas à la sortie du comparateur 182 et limite donc le courant de sortie du transistor 62. Lorsque le mode de freinage retourne au mode de freinage par résistance d'induit, la sortie de l'inverseur 101 devient positive. Ceci permet alors au condensateur 198 de se charger jusqu'à ce qu'à un certain point, la sortie du comparateur 182 devienne positive, permettant ainsi au transistor 62 d'augmenter le courant du moteur. Le courant du moteur

augmente alors effectivement de manière progressive au cours du temps, jusqu'à une valeur maximale.

REVENDICATIONS

1. Circuit de commande de freinage électrique, incorporé dans un système de commande pour un moteur de traction à courant continu comportant des enroulements d'induit (10) et d'inducteur (12) connectés en série, le système de commande étant du type qui comprend un régulateur (24) dont le rapport entre les intervalles de temps de conduction et les intervalles de temps de blocage détermine la puissance du moteur, des moyens pour déclencher un freinage électrique en inversant la polarité du courant dans l'enroulement d'inducteur (12), un circuit pour faire circuler le courant qui est produit dans un mode de fonctionnement de freinage par résistance d'induit, un circuit pour faire circuler le courant qui est produit dans un mode de fonctionnement de freinage par récupération, et un jeu de contacts (22) dont l'état fonctionnel est ouvert ou fermé en fonction du mode de freinage ; caractérisé en ce qu'il comprend : un premier élément de commande (42) qui fait circuler un courant de freinage dans le circuit de freinage par résistance d'induit dès le déclenchement du freinage électrique ; un premier élément de détection (26) destiné à détecter le courant dans le circuit de freinage par résistance d'induit, pour produire un signal représentatif du courant de freinage par résistance d'induit ; un second élément de détection (47) destiné à détecter le rapport entre l'intervalle de temps de conduction et l'intervalle de temps de blocage du régulateur, pour produire un signal représentatif de ce rapport ; et un second élément de commande (48) qui réagit au signal de courant de freinage par résistance d'induit et au signal de rapport, pour changer l'état des contacts de contacteur (22), entraînant ainsi la commutation du courant de freinage du circuit de freinage par résistance d'induit vers le circuit de freinage par récupération, chaque fois que le courant de freinage par résistance d'induit est supérieur à une valeur de courant d'induit présélectionnée

et que le rapport entre l'intervalle de temps de conduction et l'intervalle de temps de blocage est inférieur à une valeur présélectionnée.

2. Circuit de commande de freinage électrique

5 selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre : un troisième élément de détection (34) destiné à détecter le courant dans le circuit de freinage par récupération, de façon à fournir un signal représentatif du courant de freinage par récupération ; et un troisième élément
10 de commande (48) qui réagit au signal de courant de freinage par récupération en provoquant le changement d'état des contacts de contacteur (22), ce qui a pour effet de ramener le courant de freinage du circuit de freinage par récupération vers le circuit de freinage par résistance d'induit,
15 chaque fois que le courant de récupération demeure inférieur à une valeur de courant de récupération présélectionnée pendant un premier intervalle de temps présélectionné.

3. Circuit de commande de freinage électrique

selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend
20 en outre : un quatrième élément de commande (48) qui réagit au signal de courant de freinage par récupération en provoquant le changement d'état des contacts de contacteur (22), ce qui entraîne le retour du courant de freinage du circuit de freinage par récupération vers le circuit de freinage
25 par résistance d'induit, chaque fois que le courant de récupération demeure inférieur à une seconde valeur de courant de récupération présélectionnée pendant un second intervalle de temps présélectionné, cette seconde valeur de courant de récupération présélectionnée étant inférieure à
30 la première, et le second intervalle de temps présélectionné étant plus court que le premier intervalle de temps présélectionné.

4. Circuit de commande de freinage électrique

selon la revendication 3, dans lequel les contacts (22) sont
35 fermés avant le déclenchement du freinage et demeurent fer-

més pour le fonctionnement dans le mode de freinage par résistance d'induit, caractérisé en ce que le premier élément de commande comprend un circuit logique (42) qui réagit à un signal de déclenchement de freinage en maintenant les contacts (22) fermés.

5. Circuit de commande de freinage électrique selon la revendication 4, dans lequel le rapport entre les intervalles de temps de conduction et les intervalles de temps de blocage du régulateur (24) est sous la dépendance d'un oscillateur commandé par tension (60), caractérisé en ce que le second élément de détection comprend un circuit électrique (100, 104, 106, 110, 118) destiné à produire un signal de tension dont l'amplitude commande l'oscillateur (60) sous la dépendance d'un ordre d'opérateur, ce signal de tension fournissant le signal de rapport.

6. Circuit de commande de freinage électrique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le troisième élément de commande (48) comprend : un circuit électrique (182, 62) destiné à commander le régulateur (24) de façon à limiter la valeur du courant qui est produit dans le mode de freinage par récupération, ce circuit électrique faisant passer le régulateur à l'état bloqué chaque fois que la première valeur de courant de récupération présélectionnée est dépassée ; et un circuit temporisateur de restauration (124, 126, 128, 144, 156) destiné à mesurer les intervalles de temps pendant lesquels le courant de freinage par récupération est inférieur à la première valeur de courant de récupération présélectionnée, et conçu de façon à être restauré par ledit circuit électrique à un point de temporisation initial chaque fois que la première valeur de courant de récupération présélectionnée est dépassée, ce circuit temporisateur (124, 126, 128, 144, 156) produisant un signal pour changer l'état des contacts de contacteur (22) chaque fois que le courant de freinage par récupération est inférieur à la première valeur de courant de récupération présélection-

née pendant le premier intervalle de temps présélectionné.

7. Circuit de commande de freinage électrique selon la revendication 6, caractérisé en ce que le second élément de commande (48) comprend : un premier circuit comparateur 5 (80) destiné à comparer à une valeur de rapport présélectionnée l'amplitude du signal de tension dont l'amplitude commande l'oscillateur (60) ; un second comparateur (81) destiné à comparer le signal de courant de freinage par résistance d'induit à la valeur de courant de freinage par résistance 10 d'induit présélectionnée ; et un circuit logique (76, 84, 86) qui réagit aux signaux de sortie des premier et second comparateurs (80, 81) pour provoquer le changement d'état des contacts de contacteur (22).

8. Circuit de commande de freinage électrique selon 15 la revendication 7, caractérisé en ce que le circuit temporisateur à restauration (124, 126, 128, 144, 156) comprend un réseau de temporisation résistance-capacité (124, 126) qui comporte un condensateur de temporisation (126), un premier comparateur (128) qui réagit en changeant son état de sortie 20 chaque fois que la tension sur le condensateur de temporisation (126) dépasse une valeur de référence de temporisation fixée à l'avance, un comparateur de mémorisation (144) destiné à verrouiller le premier comparateur (128) à la suite du changement de l'état de sortie du premier 25 comparateur (128), et un élément de commutation (130) qui est connecté en parallèle sur le condensateur de temporisation (126) pour décharger ce condensateur de temporisation afin de restaurer le circuit temporisateur.

9. Circuit de commande de freinage électrique selon 30 la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (182, 198, 62) destinés à augmenter progressivement le rapport entre les intervalles de temps de conduction et de blocage du régulateur (24) à la suite du retour du courant de freinage du circuit de freinage par

28.

récupération vers le circuit de freinage par résistance
d'induit.

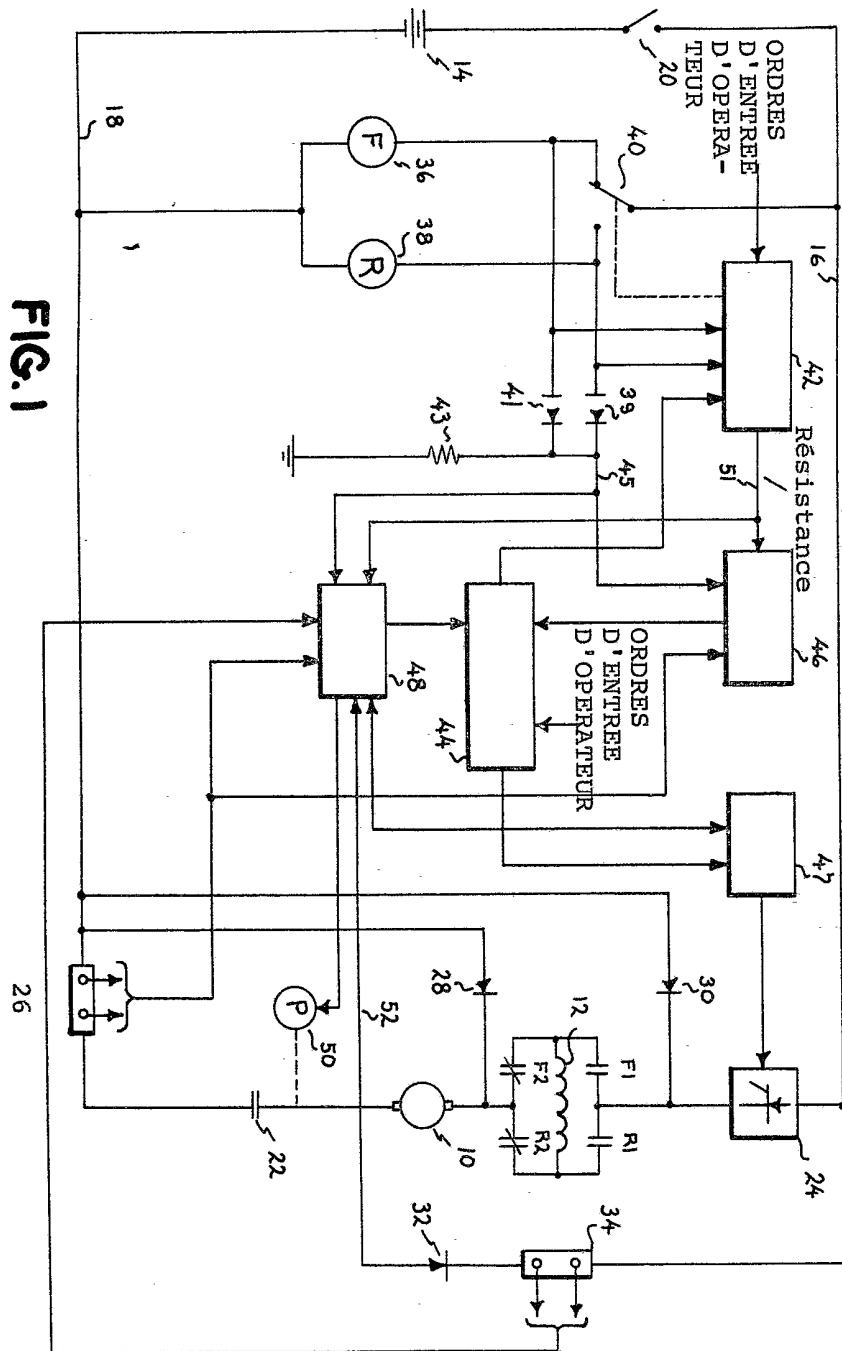


FIG. 1

II-4

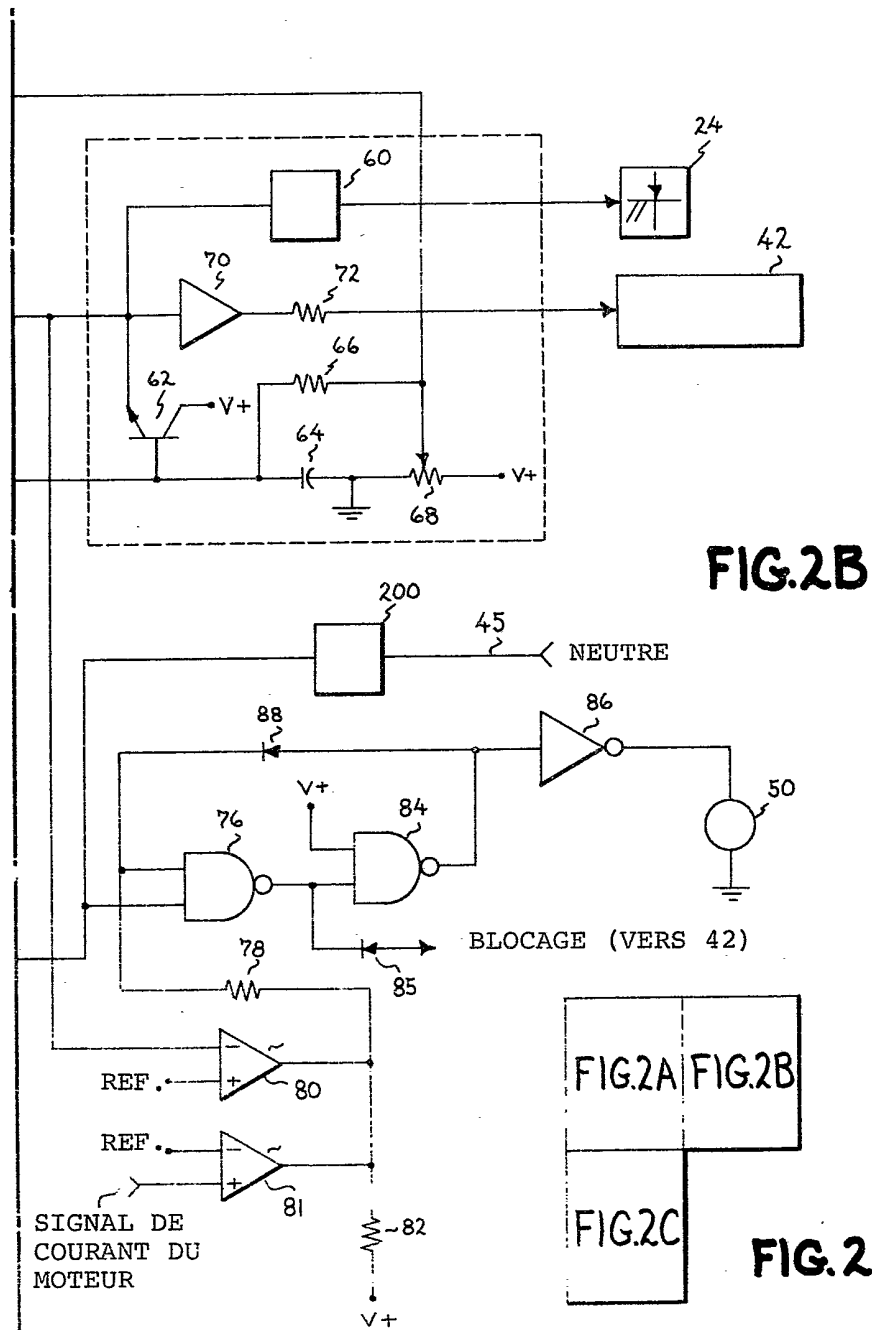
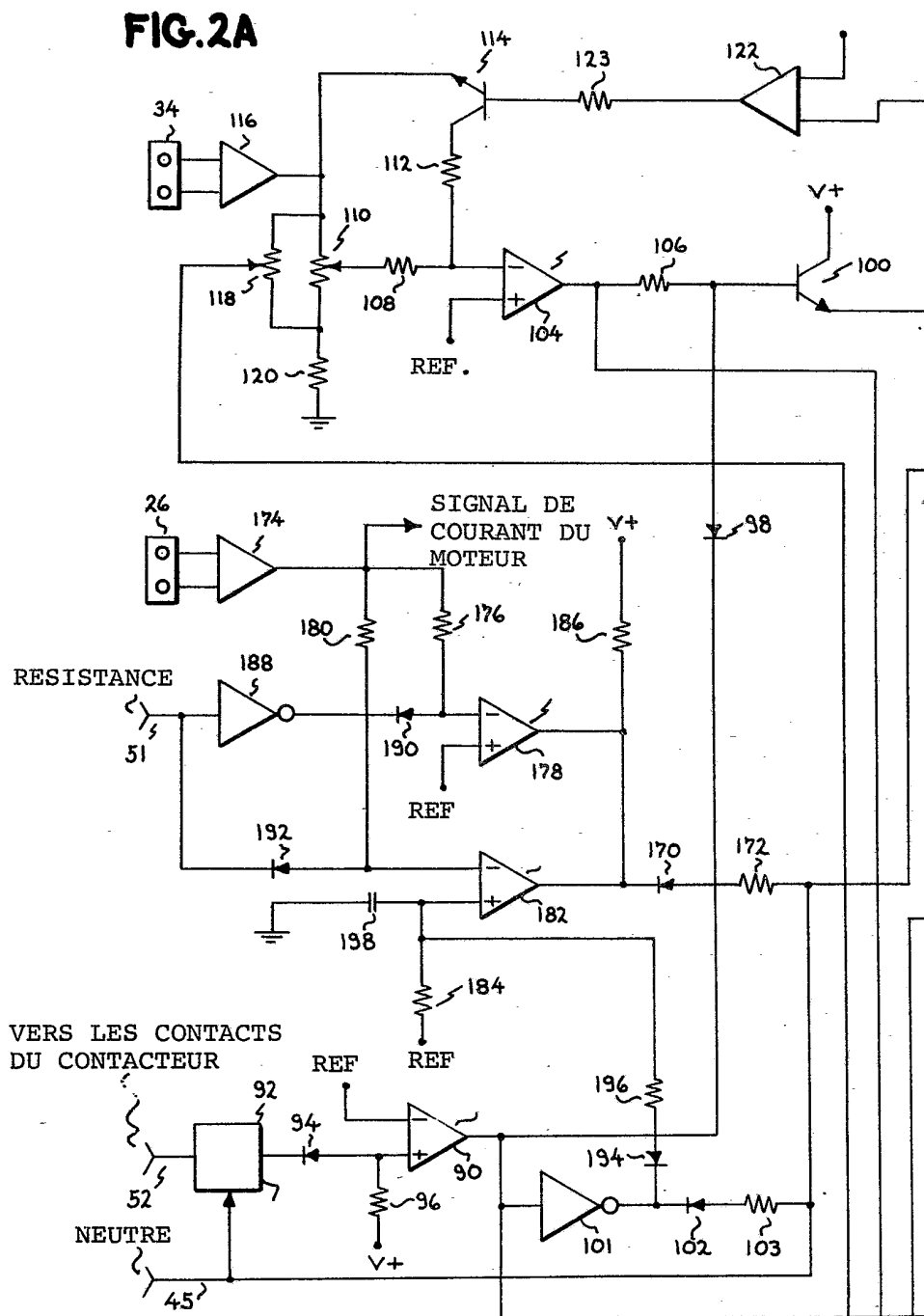


FIG. 2A



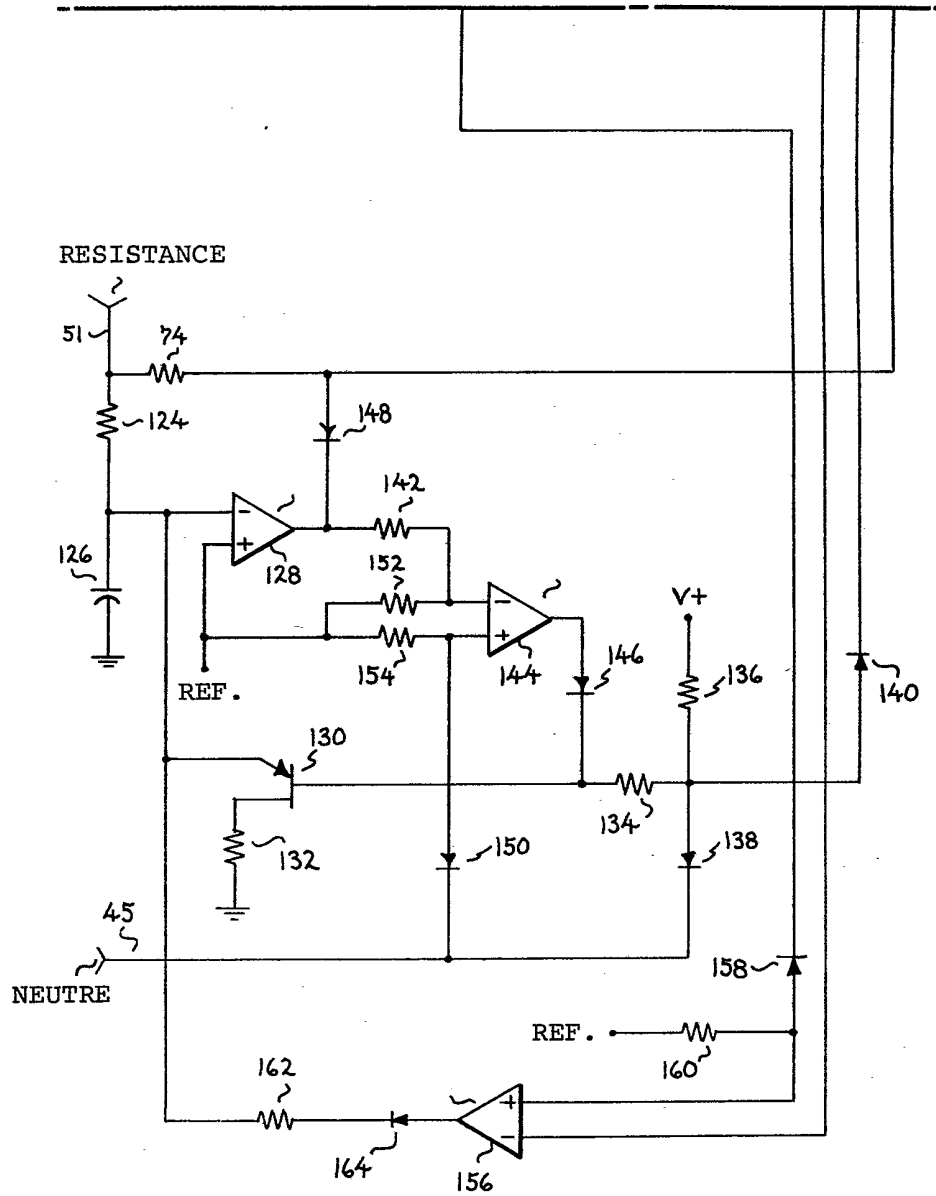


FIG. 2C