

①② **CERTIFICAT D'UTILITÉ** **B3**

⑤④ Variateur de fréquence et procédé de commande d'un variateur de fréquence.

②② Date de dépôt : 18.10.22.

③③ Priorité :

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.04.24 Bulletin 24/16.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 11.10.24 Bulletin 24/41.

⑤⑥ Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

⑦② Inventeur(s) : DURAND Fabien.

⑦③ Titulaire(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME.*

⑦④ Mandataire(s) : *L'Air Liquide, Société Anonyme pour
l'Etude et l'Exploitation des Procédés Georges Claude.*

FR 3 141 018 - B3



Description

Titre de l'invention : Variateur de fréquence et procédé de commande d'un variateur de fréquence

- [0001] La présente invention concerne un variateur de fréquence et un procédé de commande d'un variateur de fréquence.
- [0002] Un variateur de fréquence (en anglais, « variable frequency drive » ou « VFD ») est destiné à alimenter électriquement un moteur électrique. Il comporte un redresseur en entrée, un onduleur en sortie et un bus de tension continue reliant le redresseur à l'onduleur, pour alimenter l'onduleur. Le redresseur est généralement composé d'un pont de diodes et est alimenté par une tension alternative provenant d'une source électrique.
- [0003] L'onduleur comporte généralement plusieurs bras de commutation commandés par une unité de commande, de manière à fournir une tension variable au moteur électrique. Le variateur de fréquence comporte en outre un ou plusieurs condensateurs pour lisser la tension du bus de tension continue.
- [0004] Lorsque le moteur électrique ne consomme pas de courant électrique et que le redresseur est alimenté en énergie électrique, l'énergie mécanique issue de la décélération du moteur électrique est renvoyée vers le variateur de fréquence sous forme d'énergie électrique.
- [0005] Un variateur de fréquence dont le redresseur comporte un pont de diodes, ne permet pas de renvoyer cette énergie électrique vers la source électrique.
- [0006] Cette accumulation d'énergie électrique peut avoir comme conséquence une surtension au niveau du bus de tension continue. Lorsque la tension du bus de tension continue dépasse un seuil, la surtension peut alors entraîner l'endommagement de certains composants électroniques, en particulier le ou les condensateurs. Un tel seuil est par exemple atteint lorsque la tension du bus de tension continue dépasse la tension maximale admissible par le ou les condensateurs.
- [0007] La présence d'une tension trop importante ou d'un pic de tension en amont du redresseur peut elle aussi entraîner une accumulation d'énergie électrique dans le bus de tension continue, en particulier lorsque le moteur électrique ne consomme pas d'énergie électrique. Un tel pic de tension en amont du redresseur peut provenir d'une source électrique alimentant le redresseur.
- [0008] Pour dissiper cette énergie électrique et protéger les composants électroniques, une solution connue consiste à employer une résistance de freinage dédiée (aussi appelée résistance de dissipation) et un transistor de freinage dédié, pour dissiper l'énergie électrique renvoyée par le moteur électrique.

- [0009] Ceci nécessite des composants électroniques coûteux et une modification du circuit.
- [0010] Il existe un besoin pour limiter les surtensions pouvant survenir sur le bus de tension continue d'un variateur de fréquence, sans employer de composants dédiés au dispositif de freinage.
- [0011] La présente invention vise à remédier efficacement à ces inconvénients en proposant ensemble comportant un moteur électrique et un variateur de fréquence pour alimenter électriquement le moteur électrique, le variateur de fréquence comportant :
- une pluralité de phases d'entrées aptes à se connecter à une source électrique,
 - un redresseur, connecté aux phases d'entrées et configuré pour redresser une tension alternative fournie par la source électrique,
 - un bus de tension continue connecté au redresseur et comportant une première ligne et une deuxième ligne, le bus de tension continue délivrant une tension du bus de tension continue entre la première ligne et la une deuxième ligne,
 - un onduleur connecté au bus de tension continue, l'onduleur comprenant une pluralité de bras de commutation comportant chacun au moins un interrupteur, l'onduleur définissant une pluralité de phases de sortie connectées au moteur électrique pour alimenter le moteur électrique,
 - une unité de commande configurée pour commander l'onduleur,
 - un organe de limitation de tension configuré pour limiter une surtension de la tension du bus de tension continue et/ou pour limiter une surtension en amont du redresseur, l'organe de limitation de tension comportant au moins un des interrupteurs des bras de commutation et le moteur électrique, l'unité de commande étant configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter un courant électrique de freinage dans le moteur électrique.
- [0012] Un tel agencement permet de protéger les composants électroniques du variateur de fréquence, notamment ceux connectés au bus de tension continue, sans employer de composants dédiés à la limitation de tension.
- [0013] Selon une réalisation, le moteur électrique est un moteur électrique à courant alternatif.
- [0014] Selon une réalisation, le moteur électrique est configuré pour transformer une puissance électrique fournie par le bus de tension continue en une puissance mécanique disponible au rotor du moteur électrique, sous forme d'un couple délivré à une vitesse non nulle.
- [0015] Selon une réalisation, l'onduleur est configuré pour démarrer le moteur électrique.
- [0016] Selon une réalisation, l'onduleur est configuré pour arrêter le moteur électrique.
- [0017] Selon une réalisation, l'onduleur est configuré pour régler une vitesse prédéterminée et un couple prédéterminé du moteur électrique.
- [0018] Selon une réalisation, le moteur électrique comporte un enroulement de phase ou une

pluralité d'enroulements de phase.

- [0019] Selon une réalisation, le courant électrique de freinage est injecté dans le moteur électrique via au moins un des interrupteurs.
- [0020] Un tel agencement permet d'utiliser le moteur électrique en tant qu'organe de dissipation d'énergie électrique provenant du bus de tension continue et d'utiliser l'onduleur en tant qu'organe de commande pour injecter ladite énergie électrique dans le moteur, notamment pour injecter ladite énergie électrique dans l'enroulement de phase ou dans au moins l'une de la pluralité d'enroulements de phase du moteur électrique.
- [0021] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, lorsqu'il existe une surtension sur le bus de tension continue et/ou lorsqu'il existe une surtension en amont du redresseur.
- [0022] Ceci permet de limiter les surtensions au niveau de la tension du bus de tension continue et/ou de limiter les surtensions en amont du redresseur, en particulier lorsque le moteur électrique ne consomme pas de courant et que le redresseur est alimenté. Ceci permet d'éviter les risques de surchauffe du moteur électrique.
- [0023] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique lorsque le moteur électrique est à l'arrêt et lorsqu'il existe une surtension sur le bus de tension continue et/ou une surtension en amont du redresseur.
- [0024] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, lorsque la tension du bus de tension continue est supérieure à un seuil de tension continue prédéterminé et/ou lorsque la tension en amont du redresseur est supérieure à un seuil de tension amont prédéterminé.
- [0025] Selon une réalisation, le seuil de tension continue est compris entre 80% et 100% de la tension maximale admissible par au moins un des composants électriques du variateur de fréquence.
- [0026] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, tant que la tension du bus de tension continue est supérieure au seuil de tension continue prédéterminé et/ou tant la tension en amont du redresseur est supérieure au seuil de tension amont prédéterminé.
- [0027] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, alors que le moteur électrique ne fournit pas de couple mécanique.
- [0028] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander

l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, lorsqu'une température mesurée au niveau du variateur de fréquence, dépasse un seuil de température de variateur de fréquence prédéterminé.

[0029] Selon une réalisation, le redresseur comporte un pont de diodes.

[0030] Selon une réalisation, le variateur de fréquence comporte au moins un condensateur de lissage, connecté à la première ligne et à la deuxième ligne et agencé pour lisser la tension du bus de tension continue.

[0031] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, lorsqu'une température mesurée au niveau du condensateur de lissage, dépasse un seuil de température de condensateur prédéterminé.

[0032] Selon une réalisation, l'organe de limitation de tension comporte l'intégralité des bras de commutation.

[0033] Selon une réalisation, l'organe de limitation est dépourvu d'interrupteur contrôlé électroniquement autre que l'un quelconque des interrupteurs des bras de commutation de l'onduleur.

[0034] Selon une réalisation, l'organe de limitation est dépourvu de résistance électrique autre que l'enroulement de phase ou autre que la pluralité des enroulements de phase du moteur électrique.

[0035] Selon une réalisation, chaque bras de commutation comprend un interrupteur haut et un interrupteur bas.

[0036] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour ouvrir les interrupteurs haut et fermer les interrupteurs bas, de sorte à injecter le courant électrique de freinage.

[0037] Selon une réalisation, l'unité de commande est configurée pour fermer les interrupteurs haut et ouvrir les interrupteurs bas, de sorte à injecter le courant électrique de freinage.

[0038] L'invention concerne en outre un procédé de commande d'un variateur de fréquence en disposant d'un ensemble tel que décrit ci-dessus, le procédé comportant l'étape de commande de l'onduleur pour injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, lorsque la tension du bus de tension continue est supérieure à un seuil de tension continue prédéterminé et/ou lorsque la tension en amont du redresseur dépasse un seuil de tension amont prédéterminé.

[0039] Selon une réalisation, le courant électrique de freinage est contrôlé en fonction de la tension du bus de tension continue et d'une consigne.

[0040] Selon une réalisation, le procédé comporte une étape de commande de l'onduleur de manière à arrêter d'injecter le courant électrique de freinage, dès que la tension continue est inférieure ou égale au seuil de tension continue et/ou dès que la tension en

amont du redresseur est inférieure ou égale au seuil de tension amont.

- [0041] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures. Ces figures ne sont données qu'à titre illustratif mais nullement limitatif de l'invention.
- [0042] [Fig.1] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un variateur de fréquence selon l'invention ;
- [0043] [Fig.2] La [Fig.2] est une représentation schématique d'un procédé selon l'invention.
- [0044] Les éléments identiques, similaires, ou analogues, conservent la même référence d'une figure à l'autre.
- [0045] La [Fig.1] représente un ensemble 1 comportant un moteur électrique 10 et un variateur de fréquence 2 pour alimenter électriquement le moteur électrique 10.
- [0046] On entend par moteur électrique 10, toute machine électrique tournante comportant un stator et un rotor, le rotor pouvant être solidaire d'un arbre menant et/ou mené. Une telle machine électrique tournante peut être sous la forme d'un alternateur, d'un moteur électrique, ou d'une machine réversible pouvant fonctionner dans les deux modes.
- [0047] Le stator peut être monté dans un carter configuré pour porter à rotation l'arbre par exemple par l'intermédiaire de roulements. Le rotor peut comporter un corps formé par un empilage de feuilles de tôles maintenues sous forme de paquet au moyen d'un système de fixation adapté. Le rotor comporte alors des pôles formés par exemple par des aimants permanents logés dans des cavités ménagées dans la masse magnétique du rotor. Alternativement, dans une architecture dite à pôles saillants, les pôles peuvent être formés par des bobines enroulées autour de bras du rotor.
- [0048] Par ailleurs, le stator peut comporter un corps notamment constitué par une pièce de forge ou par un empilage de tôles minces. Le stator reçoit un ou plusieurs enroulements de phase. Le ou les enroulements de phase sont obtenus par exemple à partir d'un fil continu recouvert d'émail ou à partir d'éléments conducteurs en forme d'épingles reliées entre elles par soudage.
- [0049] Le moteur électrique peut être un moteur universel, synchrone ou asynchrone.
- [0050] Le moteur électrique peut être du type polyphasé, comportant par exemple trois ou six phases.
- [0051] Le variateur de fréquence 2 comporte :
- une pluralité de phases d'entrées 11, 12, 13 aptes à se connecter à une source électrique,
 - un redresseur 6, connecté aux phases d'entrées 11, 12, 13 et configuré pour redresser une tension alternative fournie par la source électrique,
 - un bus de tension continue 7 connecté au redresseur 6 et comportant une première ligne 21 et une deuxième ligne 22, le bus de tension continue délivrant une tension du bus de tension continue entre la première ligne 21 et

- la une deuxième ligne 22,
 - un onduleur 20 connecté au bus de tension continue 7, l'onduleur 20 comprenant une pluralité de bras de commutation 30, 31, 32 comportant chacun au moins un interrupteur 26, l'onduleur 20 définissant une pluralité de phases de sortie 27, 28, 29 connectées au moteur électrique 10 pour alimenter le moteur électrique 10,
 - une unité de commande 4 configurée pour commander l'onduleur 20,
 - un organe de limitation de tension configuré pour limiter une surtension de la tension du bus de tension continue 7 et/ou pour limiter une surtension en amont du redresseur 6.
- [0052] Dans un exemple de réalisation, l'unité de commande 4 comporte un micro-processeur.
- [0053] Le moteur électrique 10 est configuré pour être dans un premier état dans lequel le moteur électrique 10 fournit un couple mécanique, et dans un deuxième état dans lequel le moteur électrique 10 ne fournit pas de couple mécanique.
- [0054] Lorsqu'il est dans le premier état, le moteur électrique transforme une puissance électrique fournie par le bus de tension continue en une puissance mécanique disponible au rotor du moteur électrique, sous forme d'un couple délivré à une vitesse non nulle. Ainsi, lorsqu'il est dans le premier état, le moteur est en marche au sens où il consomme du courant électrique et il fournit du couple au rotor.
- [0055] Lorsqu'il est dans le deuxième état, le moteur électrique est à l'arrêt au sens où il ne consomme pas de courant électrique et ne fournit pas de couple au rotor.
- [0056] Lorsque le moteur électrique est dans le deuxième état, le rotor peut cependant être en rotation, notamment s'il est en phase de décélération, par exemple sous l'effet de forces de frottement, ou bien s'il est entraîné en rotation par un organe extérieur au moteur électrique.
- [0057] L'unité de commande 4 est configurée pour :
- démarrer le moteur électrique, ce qui a pour effet de faire passer le moteur électrique dans le premier état ; ou
 - arrêter le moteur électrique, ce qui a pour effet de faire passer le moteur électrique dans le deuxième état ; ou
 - régler une vitesse prédéterminée et un couple prédéterminé du moteur électrique, ce qui peut être réalisé alors que le moteur électrique est dans le premier état.
- [0058] L'organe de limitation de tension comporte au moins un des interrupteurs des bras de commutation 30, 31, 32 de l'onduleur 20 et le moteur électrique 10.
- [0059] Le variateur de fréquence 2 comporte au moins un condensateur de lissage 3, connecté à la première ligne 21 et à la deuxième ligne 22 et agencé pour lisser la

tension du bus de tension continue 7.

- [0060] L'unité de commande 4 est configurée pour commander l'onduleur 20 de sorte à injecter un courant électrique de freinage dans le moteur électrique 10, lorsque lorsqu'il existe une surtension soit sur le bus de tension continue 7 soit en amont du redresseur.
- [0061] Dans un mode de réalisation, l'unité de commande est configurée pour commander l'onduleur de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique, lorsque la tension du bus de tension continue est supérieure à un seuil de tension continue prédéterminé et/ou lorsque la tension en amont du redresseur est supérieure à un seuil de tension amont prédéterminé.
- [0062] L'injection du courant électrique de freinage est initiée alors que le moteur électrique 10 ne fournit pas de couple mécanique au rotor. Autrement dit, l'injection du courant électrique de freinage est initiée alors que le moteur électrique est dans le deuxième état.
- [0063] L'injection du courant électrique de freinage peut être réalisée tant que la tension du bus de tension continue est supérieure au seuil de tension continue prédéterminé et/ou tant que la tension en amont du redresseur est supérieure au seuil de tension amont prédéterminé.
- [0064] La surtension peut être détectée par une mesure de la tension sur le bus de tension continue 7 ou en amont du redresseur. En variante, la surtension peut être détectée par une mesure de la température d'un des composants électriques du variateur de fréquence 2, comme par exemple la température du condensateur de lissage 3.
- [0065] Plus précisément, l'unité de commande est configurée pour piloter les interrupteurs 26 de sorte à injecter du courant électrique dans la ou les phases du moteur électrique. Ce courant électrique injecté est « appelé courant électrique de freinage » car il est injecté dans le seul but, de limiter la surtension sur le bus de tension continue.
- [0066] À cette fin, les interrupteurs 26 peuvent être commandés pour envoyer du courant continu dans au moins une phase du moteur électrique. Ceci aura pour effet de dissiper de l'énergie sous forme de chaleur sans fournir du couple au rotor. Avec une telle commande des interrupteurs 26, lors de l'injection du courant électrique de freinage, le moteur électrique 10 reste dans le deuxième état.
- [0067] En variante, les interrupteurs 26 peuvent être commandés pour envoyer un courant alternatif de sorte à démarrer le moteur électrique. Ainsi, dans cette variante, le moteur électrique passe donc du premier état dans le deuxième état et le courant électrique de freinage est injecté alors que le moteur a démarré.
- [0068] Toujours dans cette variante, l'unité de commande 4 est configurée pour arrêter d'injecter du courant lorsque la tension du bus de tension continue est inférieure ou égale au seuil de tension continue prédéterminé et/ou lorsque la tension en amont du

redresseur est inférieure ou égale au seuil de tension amont prédéterminé et/ou lorsque le moteur électrique atteint une vitesse maximale admissible.

- [0069] Le redresseur peut comporter un pont de diodes 17. Comme représenté à la [Fig.1], il peut comporter 6 diodes 17.
- [0070] L'organe de limitation de tension peut comporter l'intégralité des bras de commutation 30, 31, 32. Dans ce cas, l'unité de commande 4 commande chacun des bras de commutation 30 pour injecter de l'énergie électrique dans le moteur électrique.
- [0071] L'organe de limitation est dépourvu d'interrupteur contrôlé électroniquement, autre que l'un quelconque des interrupteurs 26 des bras de commutation 30, 31, 32 de l'onduleur 20.
- [0072] Ainsi, seuls le ou les interrupteurs 26 des bras de commutation de l'onduleur 20 sont utilisés en tant qu'organe de commande pour injecter de l'énergie électrique de freinage dans le moteur électrique, lors d'une surtension de la tension du bus de tension continue 7.
- [0073] Dans l'exemple représenté, le moteur électrique 10 comporte trois enroulements de phase, notamment sous la forme d'un bobinage, par exemple en cuivre ou en aluminium. Le moteur électrique 10 comporte 3 phases 27, 28, 29, chaque phase comportant un enroulement de phase. L'organe de limitation est dépourvu de résistance électrique autre que les trois enroulements de phase du moteur électrique 10.
- [0074] Ainsi, seuls les enroulements de phase du moteur électrique 10 sont utilisés par l'organe de limitation pour la dissipation d'énergie électrique provenant du bus de tension continue, lors d'une surtension de la tension du bus de tension continue 7.
- [0075] La [Fig.2] représente un procédé de commande d'un variateur de fréquence 2 en disposant d'un ensemble 1 tel que décrit ci-dessus.
- [0076] Lorsque le moteur électrique ne consomme pas de courant électrique, l'énergie mécanique issue de la décélération du moteur électrique est renvoyée vers le variateur de fréquence sous forme d'énergie électrique. Cette accumulation d'énergie électrique peut avoir comme conséquence une surtension au niveau du bus de tension continue. Par ailleurs, dans le cas de l'apparition d'une surtension en amont du redresseur 6, par exemple due à la source électrique, il y aura aussi apparition d'une surtension sur le bus de tension continue 7.
- [0077] Alors que le moteur électrique 10 est dans le deuxième état, le procédé comporte l'étape E1 de commande de l'onduleur 20 pour injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique 10 lorsqu'il existe une surtension sur le bus de tension continue 7 et/ou lorsqu'il existe une surtension en amont du redresseur.
- [0078] En d'autres termes, alors que le moteur électrique 10 est dans le deuxième état, si la tension du bus de tension continue 7 est supérieure soit à un seuil de tension continue prédéterminé soit à un seuil de tension amont prédéterminé, alors le procédé comporte

l'étape E1 de commande de l'onduleur 20 pour injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique 10.

- [0079] Le procédé peut comporter une étape de commande de l'onduleur de manière à maintenir l'injection du courant électrique de freinage dans le moteur électrique 10 tant qu'il existe la surtension sur le bus de tension continue et/ou tant qu'il existe la surtension en amont du redresseur.
- [0080] Le procédé peut comporter l'étape E2 de commande de l'onduleur de manière à arrêter d'injecter le courant électrique de freinage, lorsque la tension continue est inférieure ou égale au seuil de tension continue et/ou lorsque que la tension en amont du redresseur est inférieure ou égale au seuil de tension amont.
- [0081] Si l'injection du courant électrique de freinage a pour effet de faire passer le moteur électrique du deuxième état dans le premier état, le procédé peut comporter une étape de commande de l'onduleur de manière à arrêter d'injecter le courant électrique de freinage, lorsque le moteur électrique atteint une vitesse maximale admissible.
- [0082] Le courant électrique de freinage peut être contrôlé en fonction de la tension du bus de tension continue 7 et d'une consigne.

Revendications

- [Revendication 1] Ensemble (1) comportant un moteur électrique (10) et un variateur de fréquence (2) pour alimenter électriquement le moteur électrique (10), le variateur de fréquence (2) comportant :
- une pluralité de phases d’entrées (11, 12, 13) aptes à se connecter à une source électrique,
 - un redresseur (6), connecté aux phases d’entrées (11, 12, 13) et configuré pour redresser une tension alternative fournie par la source électrique,
 - un bus de tension continue (7) connecté au redresseur (6) et comportant une première ligne (21) et une deuxième ligne (22), le bus de tension continue (7) délivrant une tension du bus de tension continue entre la première ligne (21) et la deuxième ligne (22),
 - un onduleur (20) connecté au bus de tension continue (7), l’onduleur (20) comprenant une pluralité de bras de commutation (30, 31, 32) comportant chacun au moins un interrupteur (26), l’onduleur (20) définissant une pluralité de phases de sortie (27, 28, 29) connectées au moteur électrique (10) pour alimenter le moteur électrique (10),
 - une unité de commande (4) configurée pour commander l’onduleur (20),
 - un organe de limitation de tension configuré pour limiter une surtension de la tension du bus de tension continue (7) et/ou pour limiter une surtension en amont du redresseur,

caractérisé en ce que l’organe de limitation de tension comporte au moins un des interrupteurs (26) des bras de commutation (30, 31, 32) et le moteur électrique (10), l’unité de commande étant configurée pour commander l’onduleur (20) de sorte à injecter un courant électrique de freinage dans le moteur électrique (10).

- [Revendication 2] Ensemble (1) selon la revendication précédente, dans lequel l’unité de commande (4) est configurée pour commander l’onduleur (20) de sorte à injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique (10), lorsqu’il existe une surtension sur le bus de tension continue (7) et/ou lorsqu’il existe une surtension en amont du redresseur.

- [Revendication 3] Ensemble (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le redresseur comporte un pont de diodes (17).
- [Revendication 4] Ensemble (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le variateur de fréquence (2) comporte au moins un condensateur de lissage (3), connecté à la première ligne et à la deuxième ligne et agencé pour lisser la tension du bus de tension continue (7).
- [Revendication 5] Ensemble (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'organe de limitation de tension comporte l'intégralité des bras de commutation (30, 31, 32).
- [Revendication 6] Ensemble (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'organe de limitation est dépourvu d'interrupteur contrôlé électriquement autre que l'un quelconque des interrupteurs (26) des bras de commutation (30, 31, 32) de l'onduleur (20).
- [Revendication 7] Ensemble (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel, le moteur électrique (10) comporte un enroulement de phase ou une pluralité d'enroulements de phase, l'organe de limitation étant dépourvu de résistance électrique autre que l'enroulement de phase ou autre que la pluralité des enroulements de phase du moteur électrique (10).
- [Revendication 8] Procédé de commande d'un variateur de fréquence (2) en disposant d'un ensemble (1) selon l'une des revendications précédentes, le procédé comportant l'étape (E1) de commande de l'onduleur (20) pour injecter le courant électrique de freinage dans le moteur électrique (10) lorsque la tension du bus de tension continue (7) est supérieure à un seuil de tension continue prédéterminé et/ou lorsque la tension en amont du redresseur dépasse un seuil de tension amont prédéterminé.
- [Revendication 9] Procédé selon la revendication précédente, comportant l'étape (E2) de commande de l'onduleur de manière à arrêter d'injecter le courant électrique de freinage, dès que la tension continue est inférieure ou égale au seuil de tension continue et/ou dès que la tension en amont du redresseur est inférieure ou égale au seuil de tension amont.

