



(11)

EP 3 450 880 A1

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
06.03.2019 Bulletin 2019/10

(51) Int Cl.:
F25B 1/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18192720.3**

(22) Date de dépôt: **05.09.2018**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **ABOU-EID, Rami**
75014 Paris (FR)
• **STAINO, Andrea**
75011 Paris (FR)
• **CHEVALIER, Philippe**
92500 Rueil Malmaison (FR)

(30) Priorité: **05.09.2017 FR 1758156**

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(71) Demandeur: **ALSTOM Transport Technologies**
93400 Saint-Ouen (FR)

(54) **PROCÉDÉ DE SUPERVISION D'UN SYSTÈME DE CLIMATISATION D'UN VÉHICULE FERROVIAIRE ET VÉHICULE FERROVIAIRE COMPORTANT UN SYSTÈME DE CLIMATISATION METTANT EN OEUVRE CE PROCÉDÉ**

(57) Ce procédé de supervision d'un système de climatisation d'un véhicule ferroviaire comporte des étapes consistant à :

- mesurer (102) des grandeurs physiques relatives au fluide frigorigène et à un flux d'air extérieur échangeant de la chaleur avec l'évaporateur ou avec le condenseur du système de climatisation ;
- calculer (104) le rendement volumétrique et le rendement isentropique d'un compresseur du système de climatisation, à partir des grandeurs physiques mesurées ;
- calculer (106) un indice de santé du compresseur à partir du rendement volumétrique et du rendement isentropique calculés ;
- comparer (108) l'indice de santé calculé avec une valeur de référence, le compresseur étant considéré comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante si l'indice de santé est inférieur de la valeur de référence.

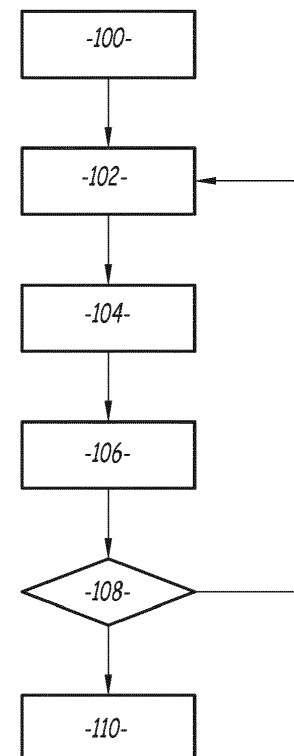


Fig.4

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de supervision d'un système de climatisation d'un véhicule ferroviaire. L'invention concerne également un véhicule ferroviaire comportant un système de climatisation mettant en oeuvre ce procédé.

[0002] De façon connue, les véhicules ferroviaires contemporains destinés à transporter des passagers sont généralement équipés de systèmes de climatisation afin d'améliorer le confort des voyageurs. Ces systèmes de climatisation, par ailleurs connus sous la dénomination HVAC, pour « Heating, Ventilation and Air Conditioning » en langue anglaise, sont typiquement basés sur un cycle thermodynamique de réfrigération utilisant un fluide frigorigène. Ils utilisent un compresseur motorisé qui en assure le fonctionnement. Toutefois, au fil du temps, les performances du compresseur diminuent, du fait de son usure, ce qui réduit l'efficacité du système de climatisation. Le confort des voyageurs s'en trouve alors dégradé et la consommation énergétique augmentée.

[0003] Typiquement, pour éviter cela, le compresseur est systématiquement remplacé lors d'une visite de maintenance préventive une fois qu'il a atteint un seuil de remplacement, par exemple un nombre prédéfini d'heures de fonctionnement. Ce seuil de remplacement est, par exemple, fourni par le constructeur du compresseur. Il est établi en fonction du comportement moyen des compresseurs d'un même modèle et/ou d'une même série.

[0004] Toutefois, en pratique, le comportement d'un compresseur pris individuellement peut être sensiblement différent de ce comportement moyen. Il arrive ainsi fréquemment que lors d'une opération de maintenance, on remplace un compresseur ayant atteint le seuil de remplacement, alors qu'il est encore en bon état et aurait pu fonctionner normalement pendant de nombreuses heures. Cela présente un coût élevé et nécessite des efforts inutiles. Au contraire, il arrive aussi que des compresseurs voient leurs performances diminuer bien avant d'atteindre le seuil de remplacement. Dans un tel cas, si on attend la visite de maintenance préventive pour remplacer le compresseur, on court le risque qu'il cesse de fonctionner entre temps, causant l'indisponibilité du système de climatisation, ce qui n'est pas satisfaisant.

[0005] C'est à ces inconvénients que vise à remédier l'invention, en proposant un système de climatisation pour un véhicule ferroviaire dont la maintenance puisse être facilitée de façon à optimiser la durée de vie du système de climatisation.

[0006] A cet effet, l'invention concerne un procédé de supervision d'un système de climatisation d'un véhicule ferroviaire, ce système de climatisation étant du type à compression de vapeur et comprenant un compresseur motorisé, un condenseur, un évaporateur et un détenteur connectés entre eux par un circuit de fluide frigorigène, ce système de climatisation étant destiné à clima-

tiser une zone située à l'intérieur du véhicule ferroviaire, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte des étapes consistant à :

- 5 a) postérieurement à la mise en marche du système de climatisation, mesurer des grandeurs physiques relatives au fluide frigorigène et à un flux d'air extérieur échangeant de la chaleur avec l'évaporateur ou avec le condenseur du système de climatisation, ces mesures étant réalisées au moyen de capteurs équipant le système de climatisation ;
- 10 b) calculer, au moyen d'un calculateur électronique du véhicule ferroviaire, le rendement volumétrique et le rendement isentropique du compresseur, à partir des grandeurs physiques mesurées lors de l'étape a) ;
- 15 c) calculer, au moyen du calculateur électronique, un indice de santé du compresseur, à partir du rendement volumétrique et du rendement isentropique calculés lors de l'étape b) ;
- 20 d) comparer, au moyen du calculateur électronique, l'indice de santé calculé lors de l'étape c) avec une valeur de référence, le compresseur étant alors considéré comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante si l'indice de santé est inférieur de la valeur de référence et, dans le cas contraire, étant considéré comme fonctionnant de manière satisfaisante.

[0007] Grâce à l'invention, en calculant en temps réel un indice de santé du compresseur à partir de grandeurs physiques mesurées lors de son fonctionnement, on bénéficie d'une information en temps réel de l'état d'usure du compresseur, de façon non invasive, pendant qu'il est en fonctionnement. On détecte ainsi, de façon quantitative, une dégradation de ses performances. Une intervention de maintenance peut alors être mise en place. En d'autres termes, le compresseur est remplacé uniquement lorsque cela est nécessaire. La durée de vie du compresseur est optimisée, en ce sens qu'on évite un remplacement prématuré du compresseur et qu'on évite aussi d'attendre une panne totale pour le remplacer. Ainsi, le coût de maintenance du système de climatisation est réduit, tout en limitant le risque de panne inopinée du système de climatisation.

[0008] Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, un tel procédé peut incorporer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toute combinaison techniquement admissible :

- Lors de l'étape c), l'indice de santé du compresseur est calculé au moyen de la formule suivante :

$$HI_{comp} = \frac{\eta_{vol} \cdot \eta_{is}}{\eta_{vol,theo} \cdot \eta_{is,theo}}$$

- où « η_{vol} » désigne le rendement volumétrique du compresseur, « η_{vol} » désigne le rendement isentropique du compresseur, « $\eta_{vol,theo}$ » désigne le rendement volumétrique théorique du compresseur et « $\eta_{is,theo}$ » désigne le rendement volumétrique théorique du compresseur, ces rendements étant calculés en fonction de grandeurs physiques mesurées lors de l'étape a).
- Lors de l'étape a), les grandeurs physiques suivantes sont mesurées par des capteurs de température et de pression du système de climatisation :
 - la pression du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur ;
 - la pression du fluide frigorigène en sortie du compresseur ;
 - la température du fluide frigorigène à l'entrée du condenseur ;
 - la température du fluide frigorigène en sortie du condenseur ;
 - la température du fluide frigorigène à l'entrée de l'évaporateur ;
 - la température du fluide frigorigène en sortie de l'évaporateur ;
 - la température du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur ;
 - la température du fluide frigorigène en sortie du compresseur.
 - Lors de l'étape a), la température du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur et la température du fluide frigorigène en sortie de l'évaporateur sont mesurées par un même capteur de température et/ou la température du fluide frigorigène à l'entrée du condenseur et la température du fluide frigorigène en sortie du compresseur sont mesurées par un même capteur de température.
 - Lors de l'étape a), les grandeurs physiques suivantes sont en outre mesurées par des capteurs additionnels du système de climatisation :
 - la température dudit flux d'air extérieur avant et après son passage dans le système de climatisation ;
 - le taux d'humidité dudit flux d'air extérieur avant et après son passage dans le système de climatisation ;
 - la vitesse de déplacement dudit flux d'air extérieur.
 - L'étape b) comporte le calcul de grandeurs thermodynamiques intermédiaires à partir des grandeurs physiques mesurées, le calcul de l'indice de santé du compresseur étant réalisé en fonction de ces grandeurs thermodynamiques intermédiaires.
 - Les étapes a), b), c) et d) sont répétées au cours du temps pendant le fonctionnement du système de climatisation, de préférence de façon régulière avec

une fréquence prédéfinie.

- Ce procédé comporte en outre l'émission d'un signal d'alerte, au moyen du calculateur électronique, si et seulement si, à l'issue de l'étape d), le compresseur est déterminé comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante.
- L'étape a) comporte en outre la détermination du travail mécanique fourni par le compresseur au fluide frigorigène et lors de l'étape c), l'indice de santé est en outre calculé en fonction de la valeur de ce travail mécanique.

[0009] Selon un autre aspect, l'invention concerne un véhicule ferroviaire comportant un système de climatisation pour climatiser une zone située à l'intérieur du véhicule ferroviaire, ce système de climatisation étant du type à compression de vapeur et comprenant un compresseur motorisé, un condenseur, un évaporateur et un détendeur connectés entre eux par un circuit de fluide frigorigène, caractérisé en ce que le véhicule ferroviaire comporte un calculateur électronique destiné à piloter le système de climatisation et programmé pour mettre en oeuvre des étapes consistant à :

- a) postérieurement à la mise en marche du système de climatisation, mesurer des grandeurs physiques relatives au fluide frigorigène et à un flux d'air extérieur échangeant de la chaleur avec l'évaporateur ou avec le condenseur du système de climatisation, ces mesures étant réalisées au moyen de capteurs équipant le système de climatisation ;
- b) calculer le rendement volumétrique et le rendement isentropique du compresseur, à partir des grandeurs physiques mesurées lors de l'étape a) ;
- c) calculer un indice de santé du compresseur, à partir du rendement volumétrique et du rendement isentropique calculés lors de l'étape b) ;
- d) comparer l'indice de santé calculé lors de l'étape c) avec une valeur de référence, le compresseur étant alors considéré comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante si l'indice de santé est inférieur de la valeur de référence et, dans le cas contraire, étant considéré comme fonctionnant de manière satisfaisante.

[0010] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre, d'un mode de réalisation d'un procédé de supervision et un système de climatisation pour un véhicule ferroviaire, donné uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique simplifiée d'un véhicule ferroviaire comportant un système de climatisation conforme à l'invention ;
- la figure 2 est un schéma synoptique simplifié d'un

système de climatisation du véhicule ferroviaire de la figure 1 ;

- la figure 3 est un schéma synoptique simplifié d'un calculateur électronique pour piloter le système de climatisation de la figure 2 ;
- la figure 4 est un ordinogramme d'un procédé de fonctionnement du système de climatisation de la figure 2.

[0011] La figure 1 représente un véhicule ferroviaire 2, par exemple un train de passagers ou un véhicule ferroviaire de transport urbain, tel qu'un tramway ou un métro.

[0012] De façon connue, le véhicule 2 est adapté pour rouler sur une voie ferrée 4 et comporte à cet effet des roues ferroviaires et au moins un moteur de traction apte à propulser le véhicule 2.

[0013] Le véhicule 2 comporte une ou plusieurs voitures ferroviaires 6 destinées à recevoir des passagers. Chaque voiture 6 est équipée d'un système de climatisation 8 qui est configuré pour climatiser un volume 10 à l'intérieur de la voiture 6. Par « climatiser », on entend ici que le système 8 est apte à amener la température de l'air à l'intérieur du volume 10 à une température de consigne prédéfinie.

[0014] Dans l'exemple illustré, chaque système de climatisation 8 est reçu dans un coffret technique dédié, ici logé sur le toit de la voiture 6 correspondante. D'autres agencements sont toutefois possibles.

[0015] Dans cet exemple, le volume 10, aussi nommé zone 10, occupe tout l'espace utile de la voiture 6.

[0016] En variante, plusieurs systèmes de climatisation 8 peuvent être associés à une même voiture 6, pour climatiser plusieurs zones 10 distinctes au sein d'une même voiture 6, ces zones 10 étant par exemple associées à des compartiments distincts de la voiture 6. Dans ce cas, les systèmes 8 peuvent fonctionner indépendamment.

[0017] Selon encore une autre variante, plusieurs systèmes 8 peuvent être utilisés pour climatiser une même zone 10. Dans ce cas, ils fonctionnent conjointement.

[0018] La figure 2 représente un exemple d'un système de climatisation 8. Ce système 8 comprend un compresseur 12 motorisé, un condenseur 14, un évaporateur 16 et détenteur 18, connectés fluidiquement entre eux par un circuit 20 de fluide frigorigène, aussi nommé fluide réfrigérant. Le condenseur 14 et l'évaporateur 16 sont ici pourvus d'échangeurs de chaleur destinés à faciliter le transfert de chaleur entre le fluide frigorigène et des flux d'air environnant.

[0019] Le compresseur 12 comporte un moteur électrique qui entraîne un organe mécanique adapté pour comprimer le fluide frigorigène. Le compresseur 12 est donc adapté pour fournir un travail mécanique au fluide frigorigène. Le compresseur 12 est, par exemple, un compresseur à piston, ou un compresseur rotatif, ou un compresseur selon toute autre technologie appropriée. Le moteur du compresseur 12 est ici alimenté électriquement par une source d'alimentation extérieure au systè-

me 8, par exemple au moyen d'un système d'alimentation électrique du véhicule 2.

[0020] Le circuit 20 est ici formé de plusieurs conduites connectées aux composants du système 8 de façon étanche. Une première conduite raccorde une sortie du compresseur 12 à une entrée du condenseur 14. Une deuxième conduite raccorde la sortie du condenseur 14 à une entrée du détenteur 18. Une troisième conduite connecte une sortie du détenteur 18 à une entrée de l'évaporateur 16. Une quatrième conduite connecte une sortie de l'évaporateur 16 à une entrée du compresseur 12. Le circuit 20 comporte un fluide réfrigérant, qui circule au sein du circuit 20.

[0021] Le système 8 comprend également une ouverture d'entrée d'air extérieur et une sortie d'air chaud, non illustrées, qui débouchent toutes deux à l'extérieur du véhicule 2.

[0022] Le système 8 comprend en outre une sortie d'air frais, non illustrée, qui débouche à l'intérieur de la voiture 6 pour fournir l'air frais destiné à climatiser le volume 10. Par exemple, la voiture 6 comprend un circuit de diffusion d'air incluant des conduites connectées à ladite sortie d'air frais et débouchant dans le volume 10 par des buses d'aération.

[0023] Le système 8 est ici adapté pour fonctionner selon un cycle thermodynamique de réfrigération, par exemple selon un cycle de compression de vapeur d'un fluide frigorigène, connu en soi.

[0024] Dans un fonctionnement normal du système 8, le fluide circule dans le circuit 20 selon le sens de circulation illustré par la flèche F, en transitant depuis la sortie du compresseur 12 vers le condenseur 14 puis vers le détenteur de détente 18 et l'évaporateur 16 avant de revenir dans l'entrée du compresseur 12.

[0025] L'air provenant de l'extérieur du véhicule 2 forme un flux d'air entrant qui circule au niveau de l'évaporateur 16, à l'extérieur de celui-ci, entre l'entrée d'air extérieur et la sortie d'air frais. Lorsque le système 8 est en fonctionnement et que le fluide frigorigène circule dans l'évaporateur 16, le fluide change d'état et s'évapore en absorbant une première quantité de chaleur Q_L lors de chaque cycle, ce qui refroidit le flux d'air entrant lors de son passage au niveau de l'évaporateur 16, notamment grâce à l'échangeur de chaleur. Cet air ainsi refroidi est acheminé vers l'intérieur de la voiture 6, par l'intermédiaire de la sortie d'air frais, pour climatiser le volume 10.

[0026] Le fluide frigorigène circule ensuite jusqu'au compresseur 12 puis vers le condenseur 14, où il change à nouveau d'état, et se condense en dégageant une deuxième quantité de chaleur Q_H vers l'extérieur lors de chaque cycle, ce qui réchauffe le flux d'air sortant lors de son passage au niveau du condenseur 14. L'air ainsi réchauffé est rejeté vers l'extérieur du véhicule 2, par l'intermédiaire de la sortie d'air chaud.

[0027] De façon avantageuse, le système 8 comprend des moyens de supervision, qui visent à mesurer en temps réel l'état de santé du système 8, par exemple pour détecter une dégradation des performances du

compresseur 12 nécessitant une intervention de maintenance.

[0028] A cet effet, le système 8 comprend des capteurs pour mesurer des grandeurs physiques relatives au fluide frigorigène lors de son cheminement dans le circuit 20 et, avantageusement, des grandeurs physiques relatives au flux d'air extérieur.

[0029] En particulier, le système 8 comporte un capteur de pression 22 et un capteur de pression 24, adaptés pour mesurer la pression du fluide frigorigène dans le circuit 20, respectivement, à l'entrée et à la sortie du compresseur 12. Ces pressions sont notées, respectivement, « P_{suc} » et « P_{dis} » dans ce qui suit.

[0030] Le système 8 comporte également des capteurs de température pour mesurer la température du fluide frigorigène en différents points du circuit 20. Par exemple, les capteurs sont logés en partie à l'intérieur des conduites correspondantes du circuit 20.

[0031] Dans cet exemple, le système 8 comprend un capteur de température 26 pour mesurer la température « $T_{\text{cond,in}}$ » du fluide frigorigène à l'entrée du condenseur 14, un capteur de température 28 pour mesurer la température « $T_{\text{cond,out}}$ » du fluide frigorigène en sortie du condenseur 14, un capteur de température 30 pour mesurer la température « $T_{\text{evap,in}}$ » du fluide frigorigène à l'entrée de l'évaporateur 16, un capteur de température 32 pour mesurer la température « $T_{\text{evap,out}}$ » du fluide frigorigène en sortie de l'évaporateur 16, un capteur de température 34 pour mesurer la température « T_{suc} » du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur 12 et un capteur de température 36 pour mesurer la température « T_{dis} » du fluide frigorigène en sortie du compresseur 12.

[0032] En variante, l'un des capteurs de température 32 et 34 peut être omis. En effet, dans les cas où le système 8 occupe un volume réduit et que l'évaporateur 16 est proche de l'entrée du compresseur 12, alors la variation de température du fluide frigorigène entre la sortie de l'évaporateur 16 et l'entrée du compresseur 12 est négligeable, de sorte qu'un seul des capteurs de température 32 et 34 est suffisant pour mesurer la température du fluide frigorigène en ces deux emplacements. En d'autres termes, la température « T_{suc} » et la température « $T_{\text{evap,out}}$ » sont alors mesurées par un même capteur de température 32 ou 34.

[0033] Il en va de même pour les capteurs de température 26 et 36, dont l'un d'eux peut être omis. En d'autres termes, la température « T_{dis} » et la température « $T_{\text{cond,in}}$ » sont alors mesurées par un même capteur de température 26 ou 36.

[0034] Le système 8 comprend également des capteurs supplémentaires, non illustrés, pour mesurer des grandeurs physiques relatives au flux d'air extérieur entrant et/ou au flux d'air extérieur sortant et à la puissance électrique consommée par le moteur du compresseur 12.

[0035] Dans cet exemple, les capteurs associés au flux d'air entrant sont adaptés pour mesurer les grandeurs physiques suivantes :

- la température T_{mix} du flux d'air entrant après son passage au niveau de l'évaporateur 16 ;
- le taux d'humidité W_{mix} du flux d'air entrant après son passage au niveau de l'évaporateur 16 ;
- la vitesse V_{supply} de déplacement du flux d'air entrant ;
- la température T_{supply} du flux d'air entrant dans le système 8, c'est-à-dire avant son passage au niveau de l'évaporateur 16 ;
- le taux d'humidité W_{supply} du flux d'air entrant dans le système 8.

[0036] En variante, lorsque la mesure est effectuée sur le flux d'air sortant, alors la vitesse V_{supply} , le taux d'humidité W_{supply} et la température T_{supply} sont remplacées par des grandeurs physiques correspondantes du flux d'air sortant.

[0037] Les capteurs associés au moteur du compresseur 12 sont quant à eux adaptés pour mesurer :

- la tension électrique « U » entre les phases du moteur du compresseur 12 ;
- l'intensité du courant électrique d'alimentation « I » du moteur du compresseur 12 ;
- le facteur de puissance « $\cos \varphi$ » du moteur du compresseur 12.

[0038] Le système 8 comprend également un calculateur électronique 40 programmé pour piloter le système 8 et pour mettre en oeuvre la supervision de l'état de santé du système 8. Ce calculateur 40 est par exemple embarqué au sein du système 8, ici à l'intérieur du coffret technique dans lequel le système 8 est logé.

[0039] Comme illustré à la figure 3, le calculateur 40 comporte une unité de calcul logique 42, comme un microprocesseur ou un microcontrôleur programmable ; un support d'enregistrement d'informations 44, tel qu'une mémoire informatique, par exemple un module mémoire de technologie Flash ; une interface d'entrée 46 de données et une interface 48 de données, ces composants du calculateur 40 étant connectés entre eux par un bus de données interne.

[0040] Le support 44 comporte des instructions exécutables pour mettre en oeuvre le procédé de la figure 4, notamment dans le but de superviser le fonctionnement du système 8, lorsque ces instructions sont exécutées par l'unité logique 42.

[0041] L'interface d'entrée 46 est ici configurée pour recevoir des signaux de mesure provenant des différents capteurs précités équipant le système 8. Par exemple, l'interface d'entrée 46 est connectée à ces capteurs au moyen de liaisons filaires et/ou par des liaisons de données sans fil.

[0042] L'interface de sortie 48 est notamment configurée pour émettre des données représentatives de l'état de santé du système 8, telles qu'un signal représentatif de l'état de santé du système 8, voire un signal d'alerte indiquant une défaillance nécessitant une intervention.

Ces données sont par exemple émises à destination d'un serveur informatique distant, par exemple installé au sein d'un centre de maintenance du véhicule 2. L'émission est réalisée au moyen d'une liaison de télécommunications, telle qu'une liaison radio, ou par l'intermédiaire du réseau internet et/ou d'un réseau de radiotéléphonie et/ou une liaison satellitaire. Les données peuvent également être stockées au sein du support 44 et/ou au sein d'un ordinateur de bord du véhicule 2.

[0043] Ainsi, dans cet exemple, les capteurs et le calculateur 40 forment ensemble les moyens de supervision précités.

[0044] Le calculateur 40 est notamment programmé pour calculer le rendement du compresseur 12, à partir des grandeurs physiques mesurées, puis pour calculer un indice de santé du compresseur, noté « HI_{comp} », à partir du rendement calculé.

[0045] Par exemple, le calculateur 40 calcule les grandeurs thermodynamiques intermédiaires suivantes relatives aux flux d'air extérieur interagissant avec le système 8 :

- l'enthalpie du flux d'air à la sortie de l'évaporateur 16 : $h_{mix} = f(T_{mix}, W_{mix})$
- l'enthalpie du flux d'air entrant dans le système 8 : $h_{supply} = f(T_{supply}, w_{supply})$
- la densité du flux d'air entrant : $\rho_{supply} = f(T_{supply}, W_{supply})$
- la vitesse moyenne du flux d'air entrant : $V_{supply} = f(V_{supply})$
- le flux volumique du flux d'air entrant : $Q_{supply} = \bar{V}_{supply} \cdot S_{supply}$
- le flux massique du flux d'air entrant : $\dot{m}_{supply} = \rho_{supply} \cdot Q_{supply}$
- la capacité de refroidissement du flux d'air entrant : $\dot{Q}_{air,cooling} = \dot{m}_{supply}(h_{mix} - h_{supply})$

[0046] Le calculateur 40 est également programmé pour calculer les grandeurs thermodynamiques intermédiaires suivantes relatives au fluide frigorigène :

- l'enthalpie en entrée de l'évaporateur 16 : $h_{evap,in} = f(T_{cond,out}, P_{dis})$
- l'enthalpie en sortie de l'évaporateur 16 : $h_{evap,out} = f(T_{evap,out}, P_{suc})$
- le flux massique du fluide : $\dot{m}_{ref} = \dot{Q}_{air,cooling} / (h_{evap,out} - h_{evap,in})$
- l'enthalpie en sortie du compresseur 12 : $h_{dis} = f(T_{dis}, P_{dis})$
- l'enthalpie en entrée du compresseur 12 : $h_{suc} = f(T_{suc}, P_{suc})$
- l'entropie en entrée du compresseur 12 : $S_{suc} = f(T_{suc}, P_{suc})$
- l'enthalpie isentropique en sortie du compresseur 12 : $h_{is,dis} = f(s_{suc}, P_{dis})$
- la densité du fluide en entrée du compresseur 12 : $\rho_{suc} = f(T_{suc}, P_{suc})$

[0047] Dans les définitions ci-dessus et ci-après, la notation $f(\dots)$ indique de façon générique qu'une grandeur est fonction d'une ou plusieurs grandeurs physiques mesurées et/ou calculées, suivant une relation prédéfinie. Cette relation prédéfinie n'est pas nécessairement la même pour toutes les définitions, bien que la même notation $f(\dots)$ soit ici utilisée.

[0048] La puissance électrique consommée par le moteur du compresseur 12 est ici donnée par la formule :

$$\dot{W}_{compr} = \sqrt{3}UI\cos\varphi$$

[0049] Le rendement volumétrique η_{vol} du compresseur 12 est calculé au moyen de la formule suivante :

$$\eta_{vol} = \frac{\dot{m}_{ref}}{\dot{V}_{disp} \cdot \rho_{suc}}$$

[0050] Le rendement isentropique η_{is} du compresseur 12 est calculé au moyen de la formule suivante :

$$\eta_{is} = \frac{\dot{m}_{ref} \cdot (h_{is,dis} - h_{suc})}{\dot{W}_{compr}}$$

[0051] Le rendement volumétrique théorique $\eta_{vol,theo}$ du compresseur 12 est calculé au moyen de la formule suivante, fonction empirique fournie par le constructeur de compresseur ou établie expérimentalement :

$$\eta_{vol,theo} = f(P_{dis}, P_{suc})$$

[0052] Le rendement isentropique théorique $\eta_{is,theo}$ du compresseur 12 est calculé au moyen de la formule suivante, fonction empirique fournie par le constructeur de compresseur ou établie expérimentalement :

$$\eta_{is,theo} = f(P_{dis}, P_{suc})$$

[0053] Les formules permettant de calculer rendement volumétrique théorique « $\eta_{vol,theo}$ » et le rendement isentropique théorique « $\eta_{is,theo}$ » du compresseur 12 sont connues, à partir de données fournies par le constructeur du compresseur 12. Elles sont acquises préalablement au lancement du procédé de supervision. Par exemple, elles sont calculées lors de l'installation du compresseur 12. Elles sont ici stockées au sein du support 44, au sein d'une structure de données numérique appropriée.

[0054] L'indice de santé HI_{comp} est calculé au moyen de la formule suivante :

$$HI_{comp} = \frac{\eta_{vol} \cdot \eta_{is}}{\eta_{vol,theo} \cdot \eta_{is,theo}}$$

[0055] L'indice de santé HI_{comp} est ici une valeur numérique réelle, par exemple positive et inférieure ou égale à 1.

[0056] Ces calculs sont ici répétés dans le temps, de préférence de façon régulière, par exemple effectués périodiquement. Ces calculs sont réalisés à partir des valeurs des grandeurs physiques mesurées pendant un instant ou un intervalle de temps correspondant. Typiquement, ces calculs sont réalisés une fois par jour et durant une période d'environ 5 minutes.

[0057] Avantagusement, une valeur seuil prédéfinie de l'indice de santé, aussi dite valeur de référence, est préalablement enregistrée dans le support 22. Lorsque l'indice devient inférieur à cette valeur seuil, alors les performances du compresseur 12 sont considérées comme n'étant plus satisfaisantes, indiquant que le compresseur 12 doit être remplacé. A titre d'exemple illustratif, une valeur de l'indice de santé HI_{comp} égale à 1 indique que l'efficacité du compresseur est satisfaisante et une valeur de l'indice de santé HI_{comp} inférieure à 0,7 ou à 0,6 indique que l'efficacité n'est plus satisfaisante.

[0058] En variante, il peut s'agir d'un intervalle de valeurs prédéfinies.

[0059] Un exemple de fonctionnement du procédé de supervision est maintenant décrit, en référence à l'ordonnogramme de la figure 4 et à l'aide des figures 2 et 3.

[0060] Lors d'une étape initiale 100, le procédé est mis en marche. Par exemple, cette mise en marche est déclenchée automatiquement lorsque le système 8 est démarré.

[0061] Ensuite, lors d'une étape 102, les grandeurs physiques décrites ci-dessus sont automatiquement mesurées à l'aide des capteurs précités. Les valeurs de ces grandeurs ainsi mesurées sont ici transmises par les capteurs à destination de l'interface d'entrée 46 du calculateur 40 par l'intermédiaire de signaux numériques et/ou analogiques.

[0062] Puis, lors d'une étape 104, le rendement volumétrique η_{vol} et le rendement isentropique η_{is} sont automatiquement calculées, par le calculateur 40, à partir des grandeurs mesurées lors de l'étape 102. Dans cet exemple, les grandeurs thermodynamiques intermédiaires précitées sont d'abord calculées par le calculateur 40, puis le rendement volumétrique η_{vol} et le rendement isentropique η_{is} sont ensuite calculés au moyen de ces grandeurs thermodynamiques intermédiaires.

[0063] Lors d'une étape 106, l'indice de santé HI_{comp} du compresseur 12 est calculé, par le calculateur 40, à partir du rendement volumétrique η_{vol} et du rendement isentropique η_{is} obtenus lors de l'étape 104 et à l'aide des valeurs de rendement volumétrique théorique $\eta_{vol,theo}$ et de rendement isentropique théorique $\eta_{is,theo}$.

[0064] Lors d'une étape 108, l'indice de santé HI_{comp} ainsi calculé est comparé automatiquement, par le cal-

culateur 40, avec la valeur seuil prédéfinie. Si l'indice de santé HI_{comp} est supérieur ou égal à cette valeur seuil, alors le compresseur 12 est considéré comme présentant des performances satisfaisantes.

[0065] Les étapes 102 à 108 du procédé sont réitérées tant que le système 8 est en fonctionnement. Par exemple, elles sont réitérées de façon périodique avec la fréquence prédéfinie précédemment mentionnée.

[0066] Au contraire, si à l'issue de l'étape 108 l'indice de santé HI_{comp} est déterminé comme étant inférieur à cette valeur seuil, alors le compresseur 12 est considéré comme présentant des performances dégradées. Par exemple, lors d'une étape 110, un signal d'alerte est envoyé, par le calculateur 40, pour indiquer qu'une intervention de maintenance est nécessaire afin de remplacer le compresseur 12. Par exemple, le signal d'alerte est un message envoyé à un serveur informatique distant.

[0067] Les étapes 102 à 108 peuvent ensuite être là aussi réitérées, pour continuer à suivre l'évolution de l'état du compresseur 12 jusqu'à ce que l'intervention de maintenance soit réalisée.

[0068] En variante, la comparaison de l'indice de santé HI_{comp} avec la valeur seuil est remplacée par un test d'appartenance de l'indice de santé HI_{comp} à un intervalle prédéfini. Dans ce cas, ce test d'appartenance comporte, de fait, la comparaison avec deux valeurs seuil ou plus.

[0069] Grâce à l'invention, on bénéficie d'une information en temps réel de l'état d'usure du compresseur, de façon non invasive, pendant qu'il est en fonctionnement. On détecte ainsi, de façon quantitative, une dégradation de ses performances. Une intervention de maintenance peut alors être mise en place. En d'autres termes, le compresseur est remplacé uniquement lorsque cela est nécessaire. On évite ainsi un remplacement prématuré du compresseur. On évite aussi d'attendre une panne totale pour le remplacer. Ainsi, le coût de maintenance du système de climatisation est réduit, tout en limitant le risque de panne inopinée du système de climatisation.

[0070] Tout cela est réalisé de façon non invasive, c'est à dire qu'il n'est pas nécessaire d'ouvrir ou de démonter le système 8 pour effectuer des mesures des grandeurs physiques. Au contraire, les capteurs sont intégrés au système 8.

[0071] En variante, le système de climatisation 8 selon l'invention est également applicable à des véhicules ferroviaires n'étant pas destinés à transporter des passagers, par exemple des locomotives, des engins de manœuvre tels que des locotracteurs, ou encore des engins de maintenance ferroviaire. Le système de climatisation 8 sert alors avantagusement à climatiser un volume 10 reçu à l'intérieur de ce véhicule, par exemple associé à une cabine de conduite ou à espace de transport de marchandises.

[0072] Les modes de réalisation et les variantes envisagés ci-dessus peuvent être combinés entre eux pour générer de nouveaux modes de réalisation.

Revendications

1. Procédé de supervision d'un système de climatisation (8) d'un véhicule ferroviaire (2), ce système de climatisation (8) étant du type à compression de vapeur et comprenant un compresseur (12) motorisé, un condenseur (14), un évaporateur (16) et un détendeur (18) connectés entre eux par un circuit (20) de fluide frigorigène, ce système de climatisation (8) étant destiné à climatiser une zone (10) située à l'intérieur du véhicule ferroviaire (2), ce procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comporte des étapes consistant à :

a) postérieurement à la mise en marche du système de climatisation (8), mesurer (102) des grandeurs physiques relatives au fluide frigorigène et à un flux d'air extérieur échangeant de la chaleur avec l'évaporateur (16) ou avec le condenseur (14) du système de climatisation (8), ces mesures étant réalisées au moyen de capteurs équipant le système de climatisation (8) ;

b) calculer (104), au moyen d'un calculateur électronique (40) du véhicule ferroviaire (2), le rendement volumétrique (η_{vol}) et le rendement isentropique (η_{is}) du compresseur (12), à partir des grandeurs physiques mesurées lors de l'étape a) ;

c) calculer (106), au moyen du calculateur électronique (40), un indice de santé (HI_{comp}) du compresseur (12), à partir du rendement volumétrique (η_{vol}) et du rendement isentropique (η_{is}) calculés lors de l'étape b) ;

d) comparer (108), au moyen du calculateur électronique (40), l'indice de santé (HI_{comp}) calculé lors de l'étape c) avec une valeur de référence, le compresseur (12) étant alors considéré comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante si l'indice de santé est inférieur de la valeur de référence et, dans le cas contraire, étant considéré comme fonctionnant de manière satisfaisante.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape c), l'indice de santé (HI_{comp}) du compresseur (12) est calculé au moyen de la formule suivante :

$$HI_{comp} = \frac{\eta_{vol} \cdot \eta_{is}}{\eta_{vol,theo} \cdot \eta_{is,theo}}$$

où « η_{vol} » désigne le rendement volumétrique du compresseur, « η_{vol} » désigne le rendement isentropique du compresseur, « $\eta_{vol,theo}$ » désigne le rendement volumétrique théorique du compresseur et « $\eta_{is,theo}$ » désigne le rendement isentropique théorique du compresseur.

rique du compresseur, ces rendements étant calculés en fonction de grandeurs physiques mesurées lors de l'étape a).

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape a), les grandeurs physiques suivantes sont mesurées par des capteurs de température (26, 28, 30, 32, 34, 36) et de pression (22, 24) du système de climatisation (8) :

- la pression du fluide frigorigène (P_{suc}) à l'entrée du compresseur (12) ;
- la pression du fluide frigorigène (P_{dis}) en sortie du compresseur (12) ;
- la température ($T_{cond,in}$) du fluide frigorigène à l'entrée du condenseur (14) ;
- la température ($T_{cond,out}$) du fluide frigorigène en sortie du condenseur (14) ;
- la température ($T_{evap,in}$) du fluide frigorigène à l'entrée de l'évaporateur (16) ;
- la température ($T_{evap,out}$) du fluide frigorigène en sortie de l'évaporateur (16) ;
- la température (T_{suc}) du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur (12) ;
- la température (T_{dis}) du fluide frigorigène en sortie du compresseur (12).

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape a), la température (T_{suc}) du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur (12) et la température ($T_{evap,out}$) du fluide frigorigène en sortie de l'évaporateur (16) sont mesurées par un même capteur de température (32, 34) et/ou la température ($T_{cond,in}$) du fluide frigorigène à l'entrée du condenseur (14) et la température (T_{dis}) du fluide frigorigène en sortie du compresseur (12) sont mesurées par un même capteur de température (26, 36).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape a), les grandeurs physiques suivantes sont en outre mesurées par des capteurs additionnels du système de climatisation (8) :

- la température dudit flux d'air extérieur avant (T_{supply}) et après (T_{mix}) son passage dans le système de climatisation (8) ;
- le taux d'humidité dudit flux d'air extérieur avant (W_{supply}) et après (W_{mix}) son passage dans le système de climatisation (8) ;
- la vitesse (V_{supply}) de déplacement dudit flux d'air extérieur.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape b) comporte le calcul de grandeurs thermodynamiques intermédiaires à partir des grandeurs physiques me-

surées, le calcul de l'indice de santé (HI_{comp}) du compresseur (12) étant réalisé en fonction de ces grandeurs thermodynamiques intermédiaires.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les étapes a), b), c) et d) sont réitérées au cours du temps pendant le fonctionnement du système de climatisation (8), de préférence de façon régulière avec une fréquence prédéfinie. 5 10
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre l'émission (110) d'un signal d'alerte, au moyen du calculateur électronique (40), si et seulement si, à l'issue de l'étape d), le compresseur (12) est déterminé comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante. 15
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape a) comporte en outre la détermination du travail mécanique ($\dot{W}_{comp}$) fourni par le compresseur (12) au fluide frigorigène et **en ce que** lors de l'étape c), l'indice de santé (HI_{comp}) est en outre calculé en fonction de la valeur de ce travail mécanique. 20 25
10. Véhicule ferroviaire (2) comportant un système de climatisation (8) pour climatiser une zone (10) située à l'intérieur du véhicule ferroviaire (2), ce système de climatisation (8) étant du type à compression de vapeur et comprenant un compresseur (12) motorisé, un condenseur (14), un évaporateur (16) et un détendeur (18) connectés entre eux par un circuit (20) de fluide frigorigène, 30 35
caractérisé en ce que le véhicule ferroviaire (2) comporte un calculateur électronique (40) destiné à piloter le système de climatisation (8) et programmé pour mettre en oeuvre des étapes consistant à : 40
 - a) postérieurement à la mise en marche du système de climatisation (8), mesurer (102) des grandeurs physiques relatives au fluide frigorigène et à un flux d'air extérieur échangeant de la chaleur avec l'évaporateur (16) ou avec le condenseur (14) du système de climatisation (8), ces mesures étant réalisées au moyen de capteurs équipant le système de climatisation (8) ; 45
 - b) calculer (104) le rendement volumétrique (η_{vol}) et le rendement isentropique (η_{is}) du compresseur (12), à partir des grandeurs physiques mesurées lors de l'étape a) ; 50
 - c) calculer (106) un indice de santé (HI_{comp}) du compresseur (12), à partir du rendement volumétrique (η_{vol}) et du rendement isentropique (η_{is}) calculés lors de l'étape b) ; 55
 - d) comparer (108) l'indice de santé (HI_{comp}) cal-

culé lors de l'étape c) avec une valeur de référence, le compresseur (12) étant alors considéré comme ne fonctionnant plus de manière satisfaisante si l'indice de santé est inférieur de la valeur de référence et, dans le cas contraire, étant considéré comme fonctionnant de manière satisfaisante.

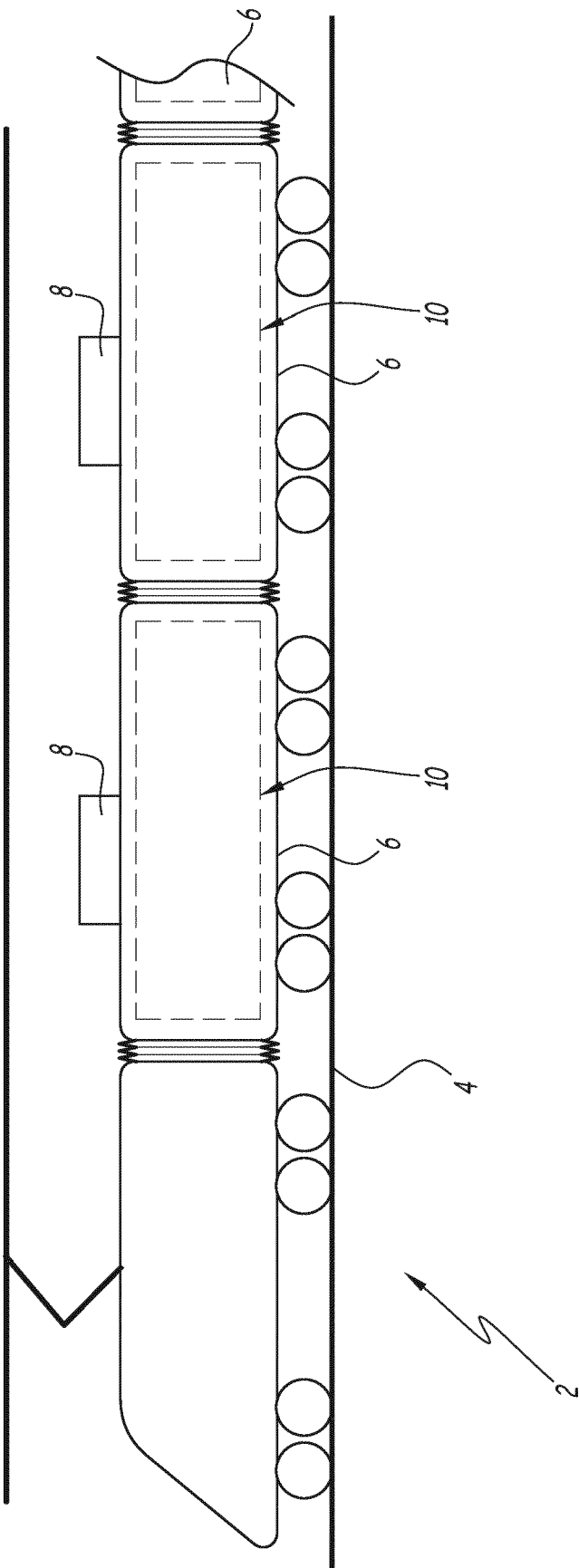


Fig.1

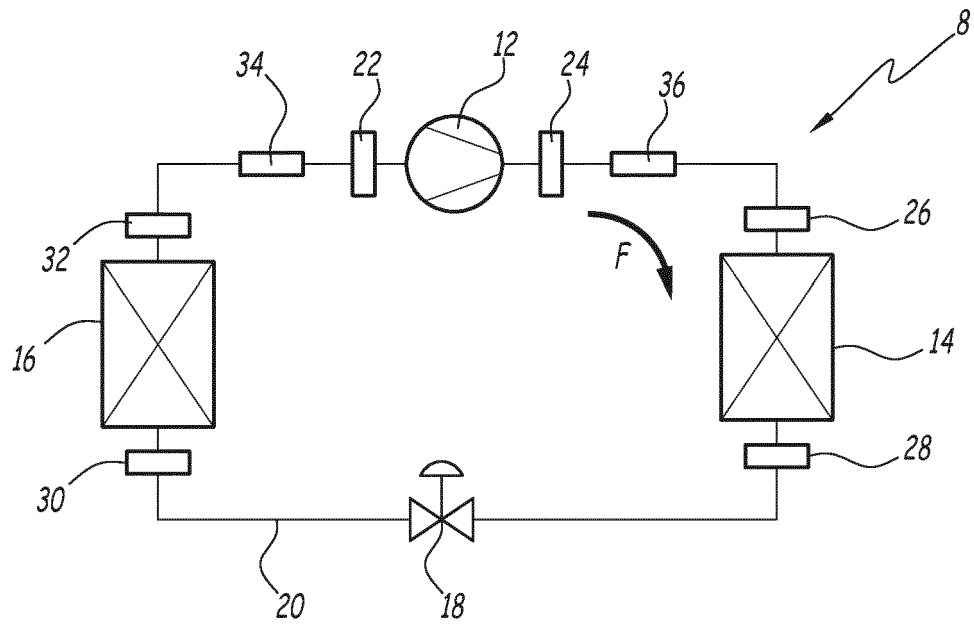


Fig.2

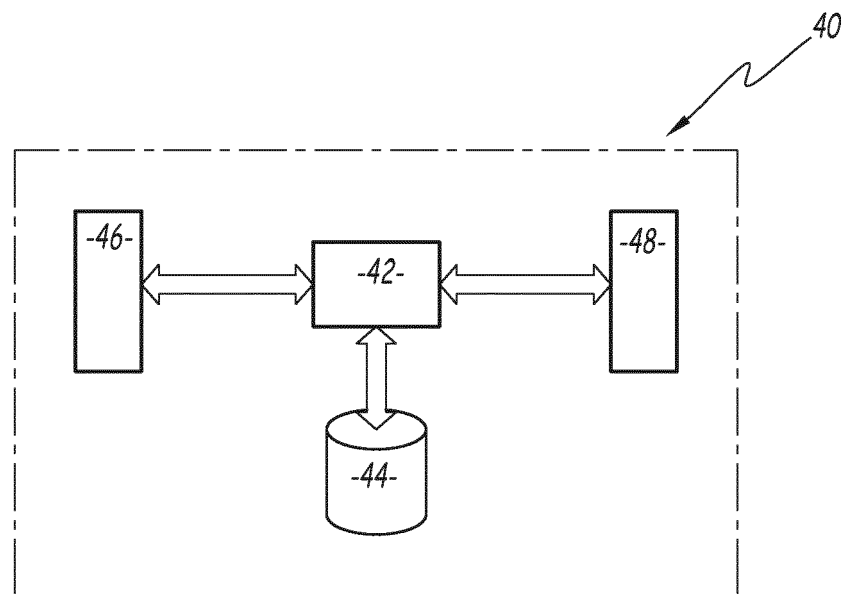


Fig.3

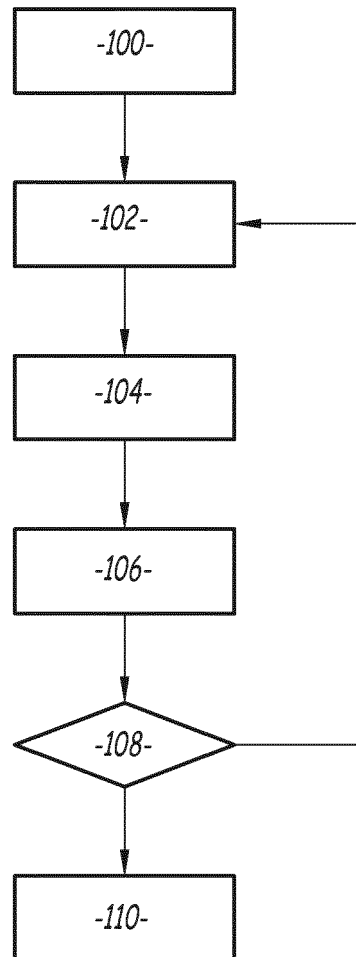


Fig.4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 19 2720

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 2 759 786 A1 (SCHNEIDER ELECTRIC IND SAS [FR]) 30 juillet 2014 (2014-07-30) * alinéas [0031], [0037]; figures 1, 3 *	1-10	INV. F25B1/00
A	US 2007/089440 A1 (SINGH ABTAR [US] ET AL) 26 avril 2007 (2007-04-26) * alinéas [0094] - [0097]; figures 1,2,25-27 *	1-10	
A	JP 2010 002090 A (PANASONIC CORP) 7 janvier 2010 (2010-01-07) * alinéa [0011] - alinéa [0037]; figures 1-9 *	1-10	
A	WO 2014/017345 A1 (MIURA KOGYO KK [JP]) 30 janvier 2014 (2014-01-30) * page 4 - page 10; figure 1 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B61D F25B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 25 septembre 2018	Examineur Amous, Moez
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 18 19 2720

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

25-09-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2759786 A1	30-07-2014	EP 2759786 A1	30-07-2014
		FR 3001527 A1	01-08-2014
		US 2014214365 A1	31-07-2014
US 2007089440 A1	26-04-2007	AUCUN	
JP 2010002090 A	07-01-2010	AUCUN	
WO 2014017345 A1	30-01-2014	JP 5390039 B1	15-01-2014
		JP 2014040995 A	06-03-2014
		WO 2014017345 A1	30-01-2014

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82