

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26.07.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.01.21 Bulletin 21/04.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SAS
— FR.

72 Inventeur(s) : DE WERGIFOSSE Huguette et BLUM
Hervé, Eugène.

73 Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SAS.

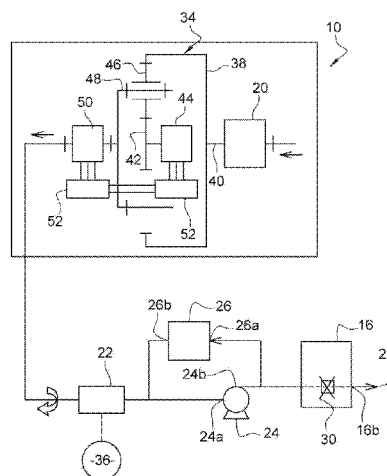
74 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

54 CIRCUIT DE CARBURANT POUR UNE TURBOMACHINE D'AERONEF.

57 Circuit (10) de carburant pour une turbomachine d'aé-
ronef, comportant :

une pompe centrifuge (24) comportant
un rotor configuré pour être entraîné par un arbre de sortie
(40) d'une boîte d'engrenages (20), et un module
(16) de dosage de carburant comportant une entrée reliée à
une sortie de ladite pompe, et une sortie (16b) destinée à
être reliée à un équipement de la turbomachine, telle qu'une
chambre de combustion (28),

caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
un différentiel mécanique (34) à train
épicycloïdal, ce différentiel comportant :
-- une première entrée configurée pour être entraînée
par ledit arbre de sortie,
-- une seconde entrée entraînée en rotation par un pre-
mier moteur électrique (44), et
-- une sortie qui entraîne en rotation ledit rotor.
Figure pour l'abrégé : Figure 4



Description

Titre de l'invention : CIRCUIT DE CARBURANT POUR UNE TURBOMACHINE D'AERONEF

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général du circuit de carburant pour une turbomachine d'aéronef.

Arrière-plan technique

[0002] Les turbomachines d'aéronef sont équipées de systèmes de régulation de débit carburant, comportant souvent un régulateur de débit carburant principal et éventuellement un régulateur de débit carburant supplémentaire de post combustion. Ces régulateurs sont fixés sur la boîte d'engrenage du type AGB (acronyme de l'anglais *Accessory Gear Box*) de la turbomachine.

[0003] Le régulateur principal comporte une pompe principale haute pression du type volumétrique et à cylindrée fixe dont la pression s'adapte au circuit d'injection dans la chambre de combustion. La caractéristique d'une pompe volumétrique répond au besoin de pression même à l'allumage et aux bas régimes. La pompe doit juste être dimensionnée de telle manière que sa cylindrée permette de délivrer les débits requis pour tous les régimes de fonctionnement de l'AGB aussi bien à basse vitesse qu'à haute vitesse.

[0004] La pompe volumétrique est donc préconisée pour le fonctionnement d'un régulateur principal. Comme représenté à la figure 1, la pompe 12 délivre un débit pendant une large phase de vitesse d'entraînement supérieure au besoin en débit carburant. Le surplus de débit est recyclé au travers d'une soupape régulatrice 14 commandée hydrauliquement par la pression différentielle aux bornes d'un module de dosage 16, ainsi qu'une boucle de recirculation 18. Le mode de fonctionnement induit un surplus de prélèvement de puissance sur la boîte d'engrenages 20, surplus de puissance mécanique qui se transforme en puissance thermique dissipée dans la boucle de recirculation 18. La boucle de recirculation 18, source de réjection thermique a un impact sur la surface de l'échangeur huile-carburant 22 et doit donc être fortement réduite.

[0005] On pourrait équiper le circuit carburant 10 d'une pompe volumétrique à cylindrée variable ayant des temps de réponse faibles (de l'ordre de 200ms), nécessitant la mise en place d'un débit de recirculation important, de manière à couvrir les besoins en débit dans ce laps de temps. Cependant, ceci diminuerait très fortement le gain thermique d'une telle solution.

[0006] Comme représenté à la figure 2, on pourrait également équiper le circuit carburant 10 d'une pompe centrifuge 24 à rendement faible régulant le débit au niveau de la pompe

mais avec une caractéristique à pression constante. Le débit carburant serait alors régulé électriquement au travers de vannes dissipatives. Une pompe centrifuge 24 fonctionne comme une source de pression dont le niveau de la pression différentielle (ΔP) est proportionnel au carré du régime d'entraînement. La pompe 24 doit être dimensionnée de telle manière qu'en tout point de vol la pression différentielle soit supérieure au besoin maximal soit pour les équipements à géométries variables 26 soit pour l'injection dans la chambre de combustion 28. La caractéristique de débit de la pompe est figée par la rotation de la turbomachine. Le débit Q (figure 3) délivré par la pompe sur cette caractéristique est ensuite ajustée au besoin par le dosage de l'étranglement d'une restriction 30 (notée K_s) variable en ligne. Cette restriction génère une perte de charge dans le circuit d'injection qui forcément sera d'autant plus importante que le régime de rotation est élevé et que le besoin en pression est faible.

- [0007] En conséquence, une architecture à pompe centrifuge 24 seule pour un régulateur principal comporterait les trois inconvénients suivants :
- [0008] - incapacité à assurer le niveau de pression aux bas régimes, pression qui serait soit requise pour activer les équipements à géométries variables 26 alimentés en débit par la pompe, soit requise pour l'injection dans la chambre de combustion 28 ;
- [0009] - dissipation conséquente au niveau de la restriction variable 30 pour certains points de fonctionnement à hauts régimes et faible besoin en pression ;
- [0010] - rendement moins optimal et très fluctuant en fonction du régime et de la pression.
- [0011] Ainsi, dans tous les cas précités, la puissance mécanique prélevée sur l'AGB ne serait pas optimisée. Pour le circuit à carburant, l'intégration d'une pompe centrifuge 24 devient intéressante car elle permet d'offrir une plus grande compacité mais avec un rendement moins optimal que la pompe volumétrique 12, et la suppression d'une pompe de gavage 32 qui était requise avec une pompe volumétrique.
- [0012] La présente invention propose une solution à ce problème, qui est simple, efficace et économique.

Résumé de l'invention

- [0013] La présente invention propose un circuit de carburant pour une turbomachine d'aéronef, comportant :
- [0014] – une pompe centrifuge comportant un rotor configuré pour être entraîné par un arbre de sortie d'une boîte d'engrenages, et
- un module de dosage de carburant comportant une entrée reliée à une sortie de ladite pompe, et une sortie destinée à être reliée à un équipement de la turbomachine, telle qu'une chambre de combustion,
- [0015] caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- [0016] – un différentiel mécanique à train épicycloïdal, ce différentiel comportant :

- [0017] -- une première entrée configurée pour être entraînée par ledit arbre de sortie,
- [0018] -- une seconde entrée entraînée en rotation par un premier moteur électrique, et
- [0019] -- une sortie qui entraîne en rotation ledit rotor.
- [0020] La présente invention propose donc un circuit carburant intégrant une pompe centrifuge seule avec une transmission à différentiel afin de supprimer les deux premiers inconvénients cités. L'invention consiste ainsi à moduler la vitesse d'entraînement du rotor de la pompe centrifuge au juste besoin.
- [0021] Un différentiel mécanique à train épicycloïdal comprend deux entrées et une sortie choisies parmi une couronne, un solaire, et un porte-satellites portant des satellites engrenés respectivement avec la couronne et le solaire.
- [0022] Le circuit selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0023] – un différentiel mécanique à train épicycloïdal, ce différentiel comportant :
- [0024] -- une couronne configurée pour être entraînée par ledit arbre de sortie,
- [0025] -- un solaire entraîné en rotation par un premier moteur électrique, et
- [0026] -- des satellites engrenés respectivement avec la couronne et le solaire et portés par un porte-satellites qui entraîne en rotation ledit rotor,
- [0027] - ledit porte-satellites est relié audit rotor par un second moteur électrique,
- [0028] - lesdits premier et second moteurs électriques sont reliés ensemble par des boîtiers de commande du mode de fonctionnement de chaque moteur parmi des modes moteur et générateur,
- [0029] - ladite pompe comprend une entrée reliée à une source de carburant par un premier circuit d'un échangeur air-carburant,
- [0030] - le circuit est dépourvu de boucle de recirculation entre ledit module et l'entrée dudit premier circuit,
- [0031] - au moins un équipement à géométrie variable de la turbomachine est monté en parallèle de ladite pompe et comprend une entrée reliée à la sortie de la pompe, et une sortie reliée à une entrée de la pompe,
- [0032] - lequel ledit module est dépourvu de restriction variable de section de passage du carburant, ainsi que d'une servovalve de commande de cette restriction, et
- [0033] - ledit équipement est une chambre de combustion ou un accessoire à géométrie variable bien connu de l'homme du métier.
- [0034] La présente invention concerne également une turbomachine d'aéronef, comportant au moins au moins un circuit tel que décrit ci-dessus.
- [0035] L'invention concerne en outre un procédé d'alimentation en carburant d'un équipement d'une turbomachine d'aéronef selon l'invention, dans lequel la vitesse du ou de chaque moteur électrique est régulée pour que la vitesse de rotation du rotor de la

pompe soit adaptée de façon à ce que cette pompe fournisse un débit de carburant prédéterminé à l'équipement pour chaque point de fonctionnement de la turbomachine. Le besoin de débit est ainsi automatiquement assuré par la pompe centrifuge.

Brève description des figures

- [0036] L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- [0037] [fig.1] la figure 1 est une vue schématique d'un circuit de carburant d'une turbomachine d'aéronef,
- [0038] [fig.2] la figure 2 est une vue schématique d'un autre circuit de carburant d'une turbomachine d'aéronef,
- [0039] [fig.3] la figure 3 est un graphe montrant l'évolution de la pression différentielle en carburant en fonction du débit de carburant, en sortie d'une pompe centrifuge d'un circuit de carburant,
- [0040] [fig.4] la figure 4 est une vue schématique d'un circuit de carburant d'une turbomachine d'aéronef, selon l'invention, et
- [0041] [fig.5] la figure 5 est un graphe montrant l'évolution de la pression différentielle en carburant en fonction du débit de carburant, en sortie d'une pompe centrifuge d'un circuit carburant selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

- [0042] Les figures 1 à 3 ont été décrites dans ce qui précède.
- [0043] Le circuit de carburant 10 de la figure 4 comprend une pompe centrifuge 24 dont un rotor est entraîné en rotation par un différentiel mécanique 34.
- [0044] La pompe 24 comprend une entrée de carburant 24a reliée, de préférence par un circuit d'un échangeur huile-carburant 22, à une source de carburant 36, et une sortie 24b reliée à un module 16 de dosage de carburant du type FMU (*fuel metering unit*).
- [0045] Des équipements 26 à géométries variables sont montés en parallèle de la pompe centrifuge 24 et comprennent une entrée 26a reliée à la sortie 24b de la pompe 24, et une sortie 26b reliée à l'entrée 24a de la pompe 24.
- [0046] Le module 16 est dépourvu de restriction variable 30 et comprend une sortie 16b reliée à une chambre de combustion 28 de la turbomachine.
- [0047] Le différentiel mécanique 34 est du type à train épicycloïdal et comporte :
- [0048] - une couronne 38 configurée pour être entraînée par un arbre de sortie 40 par exemple de la boîte d'engrenages 20 du type AGB,
- [0049] - un solaire 42 entraîné en rotation par un premier moteur électrique 44, et
- [0050] - des satellites 46 engrenés respectivement avec la couronne 38 et le solaire 42 et portés par un porte-satellites 48 qui entraîne en rotation le rotor de la pompe 24.

- [0051] Avantageusement et comme représenté sur le dessin, le porte-satellites 48 est relié au rotor de la pompe 24 par un second moteur électrique 50.
- [0052] Les moteurs électriques 44, 50 sont reliés ensemble par des boîtiers 52 de commande du mode de fonctionnement de chaque moteur parmi des modes moteur et générateur.
- [0053] Le rotor de la pompe 24 n'est ainsi plus entraîné directement en rotation par le boîtier d'engrenages 20 mais par une transmission à différentiel 34 à deux entrées et une sortie. Cette transmission permet de relier les deux entrées, l'arbre de la boîte 20 et l'axe du moteur électrique 44, à la sortie formée par le rotor de la pompe 24. Le moteur électrique 44 ajuste la vitesse de ce rotor.
- [0054] Le moteur 50 additionnel permet d'assurer le transfert de puissance avec le moteur 44. Si la vitesse du rotor de la pompe 24 doit être augmentée, le moteur électrique 44 fonctionnera en mode moteur et son énergie sera délivrée par la machine 50 positionné sur le rotor de la pompe 24. Si sa vitesse doit être diminuée, le moteur électrique 44 fonctionnera en mode générateur et son énergie sera transférée au moteur 50. Les deux moteurs 44, 50 sont pilotés au travers de boîtiers de commande 52 dits « inverseur » qui transfèrent la puissance de façon réciproque.
- [0055] Le train épicycloïdal comporte plusieurs configurations cinématiques en termes de combinaisons d'entrées et de sortie. Le choix des configurations est à identifier en fonction des contraintes de l'application considérée.
- [0056] Le dispositif de transmission ainsi agencé permet de modifier la vitesse de la pompe pour un régime moteur donné de la turbomachine (voir figure 5). La vitesse M1 du moteur 44 sera ajustée de façon à faire passer la caractéristique de la pompe pour une vitesse donnée par le point de fonctionnement requis.
- [0057] Le débit de la pompe 24 n'est donc plus lié à la vitesse de la turbomachine et ne nécessite plus d'ajustement par étranglement d'une restriction variable en ligne avec la pompe.
- [0058] Tout point de fonctionnement peut donc par ce principe être croisé par une caractéristique de la pompe centrifuge à un régime donné.
- [0059] Par contre, en se fixant une vitesse maximale admissible de la pompe 24, la pompe sera donc dimensionnée pour délivrer la pression maximale.
- [0060] De plus, le transfert de puissance réversible entre les deux moteurs 44, 50 au travers des deux boîtiers 52 permet de faire fonctionner le dispositif sans besoin de puissance externe lors du pilotage de la pompe 24, le second moteur 50 prélevant la puissance nécessaire au fonctionnement du premier moteur 44, lorsque que ce dernier fonctionne en moteur. Le transfert de puissance permet de faire fonctionner les deux moteurs 44, 50 dans les deux modes aussi bien en mode moteur qu'en mode générateur. Suivant le point de fonctionnement, le premier moteur 44 peut soit être en mode moteur ou en mode générateur et le second moteur 50 en mode générateur ou en mode moteur.

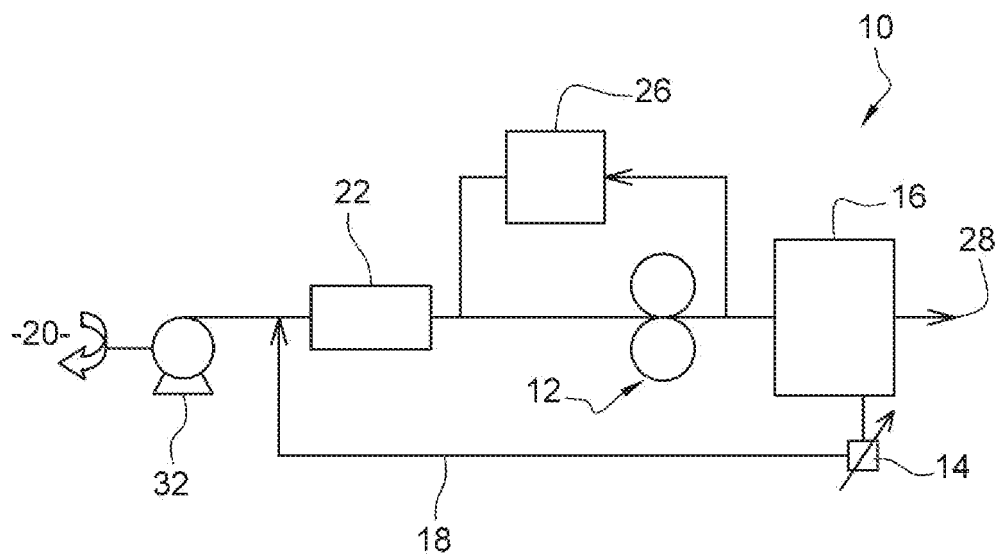
- [0061] L'absence de perte provient de ce transfert de puissance électrique, le moteur 44 récupérant de l'énergie au travers du dispositif de transmission et la restituant au moteur 50, ou le moteur 44 récupérant de l'énergie du moteur 50 et la restituant en mode moteur au dispositif de transmission.
- [0062] Plus précisément, le différentiel 34 fonctionne de la façon suivante :
- [0063] - si la vitesse de l'arbre 40 est telle que la vitesse de la pompe 24 correspond au besoin, la vitesse de pilotage du moteur 44 est nulle et la vitesse de la pompe est reliée à la vitesse de l'arbre par le rapport de réduction du train épicycloïdal à vitesse du moteur 44 nulle.
- [0064] - si la vitesse de l'arbre 40 est telle que la vitesse de la pompe 24 est supérieure au besoin, le moteur 44 sera piloté pour fonctionner dans un certain sens de rotation en mode générateur pour réduire la vitesse de la pompe 24. L'énergie récupérée sera restituée au moteur 50 fonctionnant en mode moteur.
- [0065] - si la vitesse de l'arbre 40 est telle que la vitesse de la pompe 24 est inférieure au besoin, le moteur 44 sera piloté pour fonctionner dans l'autre sens de rotation en mode moteur pour augmenter la vitesse de la pompe 24. L'énergie restituée au moteur 44 provient de l'énergie récupérée du moteur 50 fonctionnant en mode générateur.
- [0066] D'un point de vue énergétique, la puissance prélevée sur l'axe de la turbomachine sera toujours strictement égal au besoin minimum grâce au transfert de puissance.
- [0067] Ce système de régulation offre la possibilité d'utiliser un train épicycloïdal avec transfert de puissance pour entraîner la pompe centrifuge 24 au plus juste besoin.
- [0068] Ainsi, l'architecture proposée permet d'avoir une architecture sans système dissipatif avec une seule pompe centrifuge très compacte capable de fournir un niveau de pression suffisant même à faible régime. Ce principe permet d'optimiser la puissance prélevée sur l'axe de la turbomachine, en fonction des phases de fonctionnement au rendement près de la pompe centrifuge grâce au transfert de puissance.

Revendications

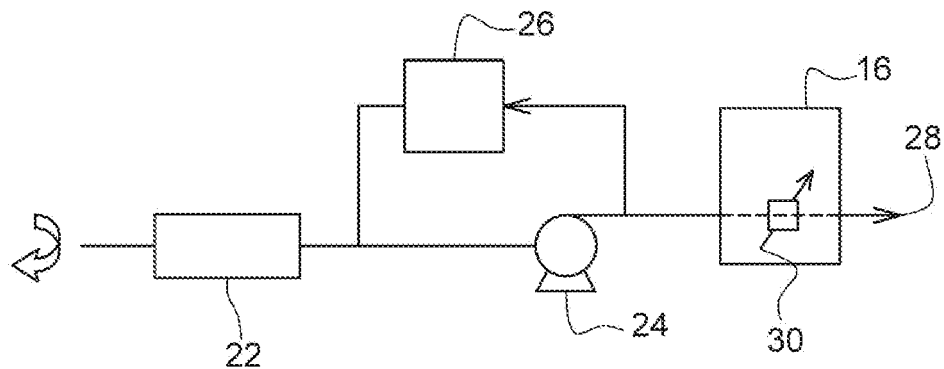
- [Revendication 1] Circuit (10) de carburant pour une turbomachine d'aéronef, comportant :
- une pompe centrifuge (24) comportant un rotor configuré pour être entraîné par un arbre de sortie (40) d'une boîte d'engrenages (20), et
 - un module (16) de dosage de carburant comportant une entrée reliée à une sortie de ladite pompe, et une sortie (16b) destinée à être reliée à un équipement de la turbomachine, telle qu'une chambre de combustion (28),
- caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- un différentiel mécanique (34) à train épicycloïdal, ce différentiel comportant :
 - une première entrée configurée pour être entraînée par ledit arbre de sortie,
 - une seconde entrée entraînée en rotation par un premier moteur électrique (44), et
 - une sortie qui entraîne en rotation ledit rotor.
- [Revendication 2] Circuit (10) selon la revendication 1, dans lequel le différentiel mécanique (34) comporte :
- une couronne (38) configurée pour être entraînée par ledit arbre de sortie (40),
 - un solaire (42) entraîné en rotation par un premier moteur électrique (44), et
 - des satellites (46) engrenés respectivement avec la couronne et le solaire et portés par un porte-satellites (48) qui entraîne en rotation ledit rotor.
- [Revendication 3] Circuit (10) selon la revendication 2, dans lequel ledit porte-satellites (48) est relié audit rotor par un second moteur électrique (50).
- [Revendication 4] Circuit (10) selon la revendication 3, dans lequel lesdits premier et second moteurs électriques (44, 50) sont reliés ensemble par des boîtiers de commande (52) du mode de fonctionnement de chaque moteur parmi des modes moteur et générateur.
- [Revendication 5] Circuit (10) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite pompe (24) comprend une entrée (24a) reliée à une source de

- carburant (36) par un premier circuit d'un échangeur air-carburant (22).
- [Revendication 6] Circuit (10) selon la revendication précédente, dans lequel il est dépourvu de boucle de recirculation (30) entre ledit module (16) et l'entrée dudit premier circuit.
- [Revendication 7] Circuit (10) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins un équipement (26) à géométrie variable de la turbomachine est monté en parallèle de ladite pompe (24) et comprend une entrée (26a) reliée à la sortie (24b) de la pompe (24), et une sortie (26b) reliée à une entrée (24a) de la pompe.
- [Revendication 8] Circuit (10) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit module (16) est dépourvu de restriction variable (30) de section de passage du carburant, ainsi que d'une servovalve de commande de cette restriction.
- [Revendication 9] Turbomachine d'aéronef, comportant au moins un circuit (10) selon l'une des revendications précédentes.
- [Revendication 10] Procédé d'alimentation en carburant d'un équipement d'une turbomachine d'aéronef selon la revendication 9, dans lequel la vitesse du ou de chaque moteur électrique (44, 50) est régulée pour que la vitesse de rotation du rotor de la pompe (24) soit adaptée de façon à ce que cette pompe fournisse un débit de carburant prédéterminé à l'équipement pour chaque point de fonctionnement de la turbomachine.

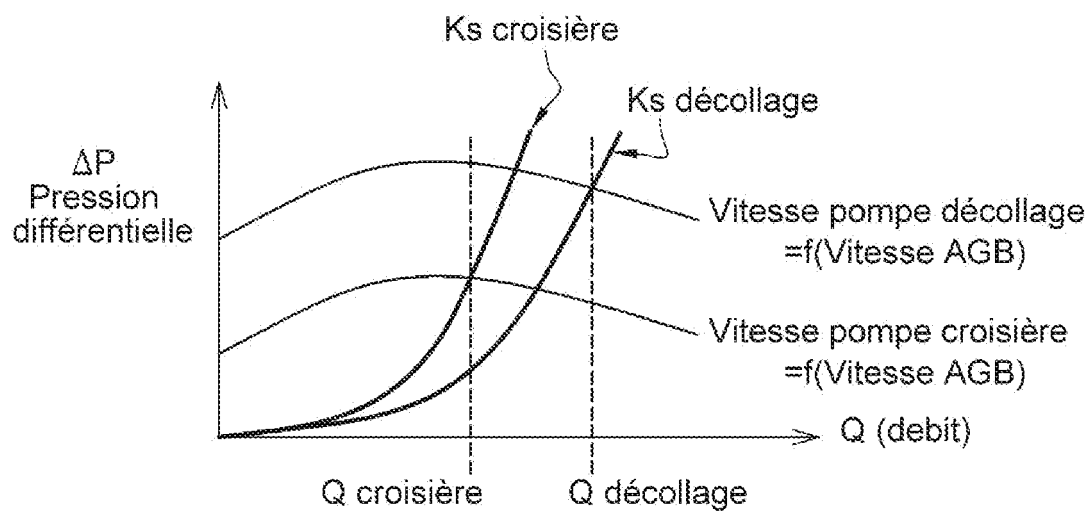
[Fig. 1]



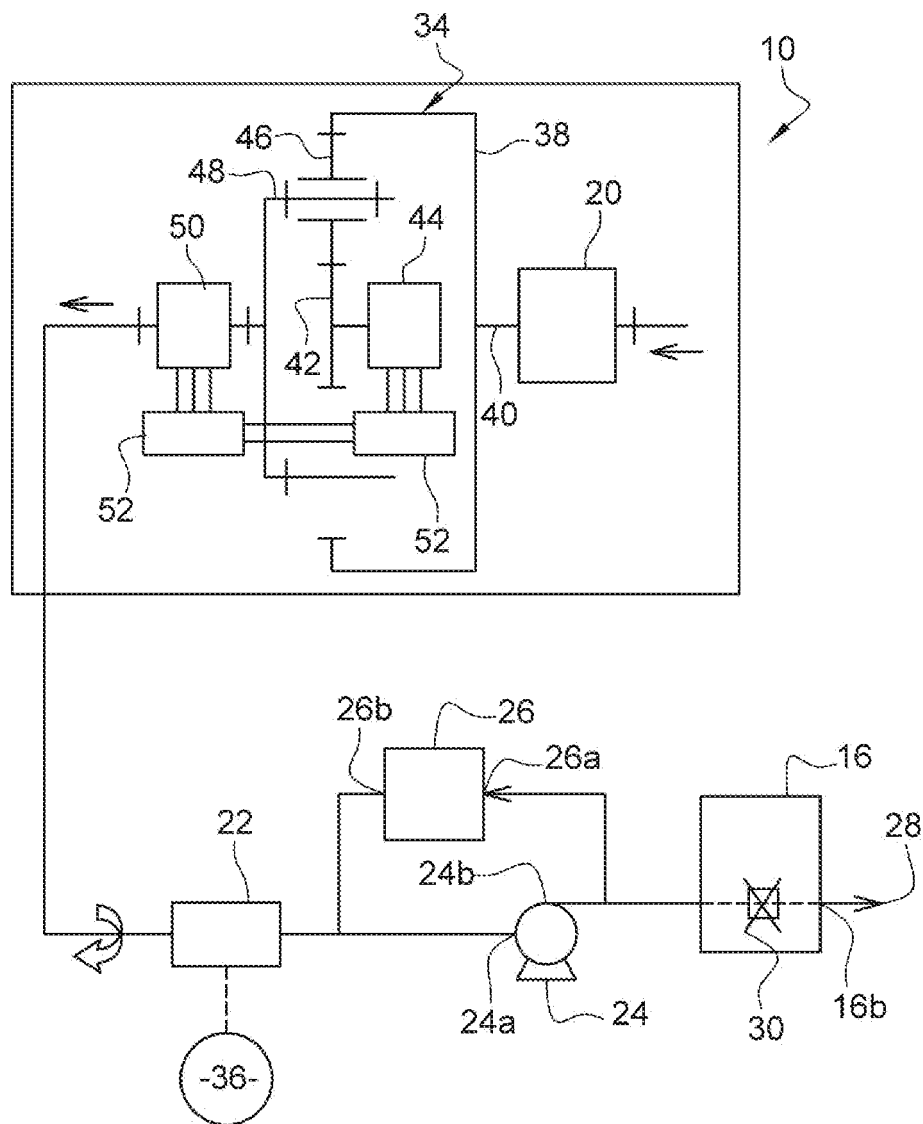
[Fig. 2]



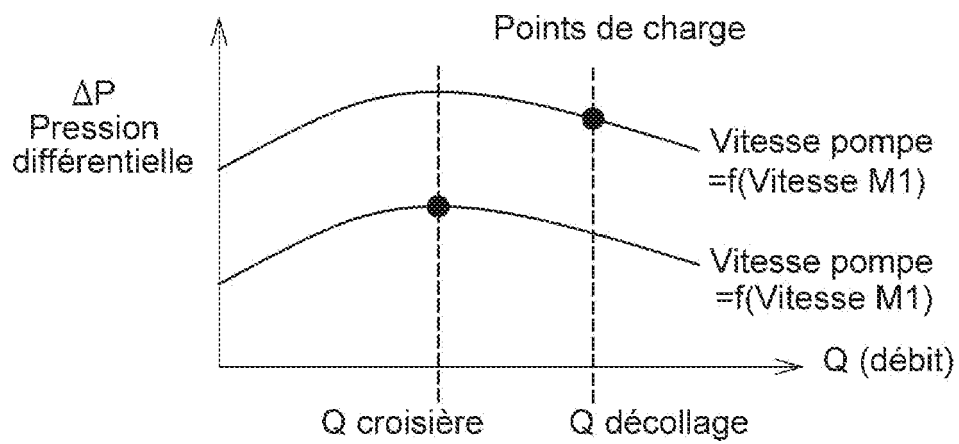
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 870383
FR 1908560

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 934 321 A1 (HISPANO SUIZA SA [FR]) 29 janvier 2010 (2010-01-29)	1,2,5-10	F02C7/22 F02C9/30
Y	* figure 1 * * page 7, ligne 25 - ligne 30 *	3,4	F16H3/72 F02C7/32
X	WO 2018/138428 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]; SAFRAN ELECTRICAL & POWER [FR]) 2 août 2018 (2018-08-02)	1	
Y	* figure 5 * * page 10 *	3,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F02C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 mars 2020		Burattini, Paolo	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1908560 FA 870383**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **23-03-2020**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2934321	A1	29-01-2010	DE 102009034600 A1	25-02-2010
			FR 2934321 A1	29-01-2010
			GB 2461973 A	27-01-2010
			US 2010018182 A1	28-01-2010

WO 2018138428	A1	02-08-2018	CN 110234856 A	13-09-2019
			EP 3574198 A1	04-12-2019
			FR 3062421 A1	03-08-2018
			US 2020003126 A1	02-01-2020
			WO 2018138428 A1	02-08-2018
