

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE DE COMMANDE DE L'ALIMENTATION EN CARBURANT D'UNE CHAMBRE DE COMBUSTION D'UNE TURBOMACHINE, SYSTÈME D'ALIMENTATION EN CARBURANT ET TURBOMACHINE.

②② Date de dépôt : 28.12.17.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

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

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.07.19 Bulletin 19/27.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 07.02.20 Bulletin 20/06.

⑦② Inventeur(s) : BOUTALEB MOHAMMED-LAMINE,
CHALAUD SEBASTIEN CHRISTOPHE et LE PACHE
GWENOLE YANN.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES*.

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦④ Mandataire(s) : *BREVALEX INTERNATIONAL*.

FR 3 076 320 - B1



PROCÉDÉ DE COMMANDE DE L'ALIMENTATION EN CARBURANT D'UNE CHAMBRE DE COMBUSTION D'UNE TURBOMACHINE, SYSTÈME D'ALIMENTATION EN CARBURANT ET TURBOMACHINE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention a pour objet le domaine des turbomachines et du circuit d'alimentation de telle turbomachine.

L'invention concerne ainsi un procédé de commande de l'alimentation en carburant d'une chambre de combustion d'une turbomachine, un circuit d'alimentation et une turbomachine.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

D'une manière générale, une chambre de combustion de turbomachine est alimentée en carburant par des dispositifs d'injection conçus pour pulvériser le carburant dans la chambre de combustion. Ces mêmes dispositifs d'injection, formant un système d'injection de la chambre de combustion, sont alimentés par un circuit d'alimentation en carburant de la turbomachine.

Les dispositifs d'injection présentent au moins une première et une deuxième partie configurées pour autoriser une alimentation de la chambre de combustion selon un type d'alimentation respectif. La première partie correspond ainsi à un type d'alimentation pilote dédié au faible régime et la deuxième partie correspond à un type d'alimentation principal dédié au haut régime et permettant d'optimiser la combustion de la chambre à ces haut régime de manière à réduire la pollution générée. Ces première et deuxième parties peuvent être :

- soit chacune constituée par des dispositifs d'injection dédiés au type d'alimentation correspondant,

- soit chacune constituée par une partie de chaque dispositif d'injection qui est dédiée au type d'alimentation correspondant.

Quelle que soit la configuration de ces dispositifs d'injection, la répartition de l'alimentation en carburant de chacune de la première et la deuxième partie est fournie par le circuit d'alimentation en carburant.

Ainsi, pour cela le circuit d'alimentation comporte une ligne d'injection pilote et une ligne d'injection principale entre lesquelles sont réparties l'alimentation en carburant de la chambre de combustion, la ligne d'injection pilote alimentant en carburant la première partie des dispositifs d'injection et la ligne d'injection principale alimentant la deuxième partie des dispositifs d'injection. L'alimentation en carburant de la chambre d'injection est ainsi répartie entre la ligne d'injection pilote et la ligne d'injection principale.

Afin de limiter la pollution générée par les turbomachines, la répartition de l'alimentation en carburant des lignes d'injection pilote et principale est, pour les différentes phases de fonctionnement de la turbomachine, que ce soit en vol ou au sol, particulièrement règlementée.

En ce qui concerne les changements de répartition de l'alimentation en carburant des lignes d'injection pilote et principale, entre ses différentes phases de fonctionnement, la réglementation est plus légère et requiert uniquement que ce passage ait lieu pendant une période de temps prédéterminée.

Afin d'exemplifier un tel passage, il a été fourni sur les figures 1A à 1C un exemple de transition de l'alimentation en carburant lors d'une accélération de la turbomachine la faisant passer d'un bas régime à un haut régime. Comme le montre la figure 1B, dans cet exemple, la répartition de l'alimentation passe d'une première valeur de répartition d'alimentation en carburant de 100% sur la ligne d'injection pilote, la ligne d'injection principale étant sensiblement non alimentée en carburant, à une deuxième valeur de répartition d'alimentation en carburant de 5% sur la ligne d'injection, la ligne d'injection principale étant alimentée avec 95% du carburant.

Ainsi, en conformité avec l'enseignement du document FR 3025590 A1 et comme illustré sur les figures 1A à 1C, il est connu de faire un tel passage de manière abrupte.

On peut ainsi voir sur ces figures que, lors d'un tel changement de régime 501 (R sur la figure 1A), le débit d'injection de carburant 502 (Db sur la figure 1A) est augmenté graduellement jusqu'à atteindre, en même temps que le régime 501, un maximum. Le passage 511 de la répartition 510 (Ds sur la figure 1B) de la première valeur à la deuxième valeur est réalisé de manière abrupte lorsque le régime atteint son maximum. Comme le montre la figure 1C, ce passage de la répartition 510 de la première valeur à la deuxième valeur entraîne elle-même une forte baisse 521 de la pression 520 (P sur la figure 1C) dans le circuit d'alimentation en carburant.

Une telle baisse de pression a pour origine le fait que, pour un même débit, les pertes de charges sont plus importantes pour la première partie des dispositifs d'injection que pour la deuxième partie des dispositifs d'injection. Il résulte ainsi que le passage de la première valeur à la deuxième valeur de répartition de l'alimentation en carburant a pour conséquence une réduction importante des pertes de charges générées par la ligne d'injection concernée, et donc une diminution, pour un débit de carburant égal, de la pression du circuit d'alimentation en carburant.

Or une telle baisse de la pression peut être particulièrement préjudiciable pour le fonctionnement de la turbomachine lorsqu'elle a lieu pendant certaines phases de fonctionnement de la turbomachine, telles que la phase d'accélération illustrée sur les figures 1A à 1C, ou encore, des phases d'ingestion d'éléments extérieurs, tels qu'un oiseau, de l'eau de pluie/neige et de la grêle. Ces différentes phases requièrent une préservation de la pression dans le circuit d'alimentation.

En effet, dans une turbomachine, la haute pression du circuit d'alimentation en carburant est également utilisée pour alimenter des vérins hydrauliques, commandant des organes mobiles utiles pour l'opérabilité du moteur, par exemple, des aubes de stator à calage variable ou des vannes de décharges d'un compresseur. Une baisse de pression dans le circuit d'alimentation en carburant a donc une répercussion directe sur le muscle hydraulique alimentant ces vérins et donc sur la capacité à actionner les organes mobiles, ceci alors que les efforts s'appliquant sur les organes mobiles peuvent être en augmentation. Il est donc nécessaire, afin de permettre

un bon fonctionnement de la turbomachine, de prévoir un dimensionnement augmenté des vérins hydrauliques alimentés par le circuit de carburant de la turbomachine, afin de pouvoir fournir des efforts suffisants avec cependant moins de muscle hydraulique du fait de la baisse de pression liée au changement de répartition de l'alimentation en carburant.

5 Ainsi, les procédés de commande de l'alimentation en carburant actuellement mis en œuvre ne sont pas adaptés en ce qui concerne les phases de changement de la répartition en carburant puisqu'ils peuvent être à l'origine d'une baisse de pression dans le circuit d'alimentation en carburant de la turbomachine. Cette baisse de pression, afin de ne pas être préjudiciable au fonctionnement de la turbomachine, 10 peut nécessiter un dimensionnement à la hausse des vérins hydrauliques, notamment une augmentation de leur diamètre.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention vise à résoudre cet inconvénient et a ainsi pour but de fournir un procédé de commande de l'alimentation en carburant d'une turbomachine qui 15 permet de garantir une pression adéquate du circuit d'alimentation en carburant lors d'un changement de la répartition en carburant ceci sans nécessiter un dimensionnement à la hausse des vérins hydrauliques, comme cela est le cas pour les turbomachines de l'art antérieur.

L'invention concerne un procédé de commande d'injection de carburant 20 dans une chambre de combustion d'une turbomachine, la turbomachine comprenant un circuit d'alimentation en carburant d'un système d'injection de la chambre de combustion, ledit circuit d'alimentation comprenant une ligne d'injection pilote et une ligne d'injection principale entre lesquelles sont réparties l'alimentation en carburant de la chambre de combustion,

25 dans lequel procédé de commande, une transition de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote et la ligne d'injection principale d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition est réalisée sur une période de temps correspondante, la répartition de l'alimentation ayant la deuxième valeur de répartition à l'issue de la période de temps correspondante

Le procédé de commande comprend, pour une transition de la répartition de l'alimentation d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition pour laquelle la répartition en carburant de la ligne d'injection pilote est réduite par rapport à celle de cette même ligne d'injection pilote pour la première

5 valeur de répartition, les étapes suivantes:

a) détermination d'au moins une valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation pendant au moins une partie de la période de temps,

10 b) détermination d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation,

c) calcul, à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation déterminée, d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression, la valeur calculée de répartition étant intermédiaire entre la première valeur de répartition et la

15 deuxième valeur de répartition,

d) passage de la répartition de l'alimentation en carburant à la valeur calculée de répartition,

au moins les étapes b) à d) étant répétées successivement pendant toute la durée de la période de temps correspondante.

20 Avec un tel procédé, le passage de la première à la deuxième valeur pendant la période de temps correspondante, c'est-à-dire la période de temps prédéterminée pendant laquelle le passage de la première à la deuxième valeur doit avoir lieu, est réalisé de manière à préserver la pression minimale dans le circuit d'alimentation. Avec une telle pression préservée, l'actionnement des vérins est assuré

25 sans avoir à nécessairement un dimensionnement à la hausse des vérins comme cela est le cas dans les procédés de l'art antérieur.

L'étape c) de calcul de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant peut comporter les sous étapes suivantes :

- calcul à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation déterminée et d'une valeur actuelle de la répartition de l'alimentation en carburant, d'une valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation,

5 - comparaison de la valeur actuelle calculée de la grandeur de pression du circuit d'alimentation avec la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée,

- calcul, à partir du résultat de la comparaison, de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir.

10 L'étape c) de calcul de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant peut consister en une étape de calcul de ladite valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant à partir de l'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation en carburant déterminée et de la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée.

15 De cette manière avec ces deux variantes de l'étape c), il est possible d'obtenir un changement rapide de la répartition de l'alimentation tout en assurant que la pression dans le circuit d'alimentation reste suffisante pour garantir un bon actionnement des vérins hydraulique.

20 La grandeur de pression peut être choisie parmi une valeur de pression du circuit d'alimentation et une valeur de force développée par un vérin alimenté par le circuit d'alimentation, et la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation est une valeur du débit d'alimentation en carburant de la chambre d'injection.

25 Lors de la répétition successive des étapes b) à d), l'étape a) peut également être répétée, celle-ci permettant de déterminer une valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation en carburant pendant une fraction de période de la période de temps correspondant.

De cette manière, le système d'alimentation est apte à assurer un bon actionnement pendant toute la période de temps correspondante quelles que soient les évolutions de la configuration de la turbomachine.

L'invention concerne en outre un circuit d'alimentation en carburant pour une turbomachine, le circuit de carburant comportant :

- une ligne d'injection pilote destinée à alimenter une partie pilote d'un système d'injection d'une chambre de combustion de la turbomachine,

5 - une ligne d'injection principale destinée à alimenter une partie principale du système d'injection de la chambre de combustion,

- un dispositif de répartition de l'alimentation en carburant configuré pour commander la répartition en carburant entre la ligne d'injection pilote et la ligne d'injection principale,

10 - une unité de commande apte à commander le dispositif de répartition de l'alimentation et à faire une mesure de certaines grandeurs hydrauliques du circuit d'alimentation,

l'unité de commande étant configurée pour commander le système de répartition de manière à fournir une transition de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote et la ligne d'injection principale d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition sur une période de temps correspondante, la répartition de l'alimentation ayant la deuxième valeur répartition à l'issue de la période de temps correspondante.

15

L'unité de commande est en outre configurée pour, lors d'une commande du système de répartition en carburant pour effectuer une transition de la répartition de l'alimentation d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition pour laquelle la répartition en carburant de la ligne d'injection pilote est réduite par rapport à celle de cette même ligne d'injection pilote pour la première valeur de répartition, mettre en œuvre les étapes suivantes :

20

25 a) déterminer au moins une valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation pendant au moins une partie de la période de temps correspondant,

b) détermination d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation,

c) calcul, à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation déterminée, d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression, la valeur calculée de répartition étant intermédiaire entre la première valeur de répartition et la deuxième valeur de répartition,

d) passage de la répartition de l'alimentation à la valeur calculée de répartition de l'alimentation,

l'unité de commande étant en outre configurée pour répéter les étapes b) à d) successivement pendant toute la durée de la période de temps correspondante.

Un tel circuit d'alimentation permet la mise en œuvre d'un procédé d'alimentation selon l'invention et de bénéficier des avantages qui y sont liés.

L'unité de commande peut comporter :

- un module de détermination de la pression minimale configuré pour déterminer une valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation pendant au moins une partie de la période de temps correspondant,

- un module de calcul configuré pour calculer à partir d'une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation déterminée et d'une valeur actuelle de la répartition de l'alimentation en carburant, une valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation,

- un module de comparaison configuré pour comparer la valeur actuelle calculée de la grandeur de pression du circuit d'alimentation avec la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée, et pour calculer, à partir du résultat de la comparaison, une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée.

L'unité de commande est un calculateur de turbomachine.

L'invention concerne une turbomachine comprenant une chambre d'injection, ladite chambre d'injection comprenant un système d'injection, ladite

turbomachine comprenant en outre un circuit d'alimentation en carburant selon l'invention alimentant en carburant le système d'injection.

Une telle turbomachine bénéficie des avantages liés au circuit d'alimentation en carburant qu'elle comporte.

5 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation, donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1A à 1C illustrent graphiquement la variation de certains paramètres d'une turbomachine et d'un circuit d'alimentation de l'art antérieur équipant ladite turbomachine lors d'un passage de ladite turbomachine d'un bas régime à un haut régime, la figure 1A figurant la variation dans le temps du régime de la turbomachine et du débit de carburant injecté dans la chambre de combustion, la figure 1B figurant la variation dans le temps de la répartition de l'alimentation en carburant entre une ligne d'alimentation pilote et une ligne d'alimentation principale,
- la figure 2 est une vue schématique en section axiale d'une turbomachine pour aéronef selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 un vue schématique des éléments constituant un circuit d'alimentation en carburant d'une turbomachine selon le premier mode de réalisation,
- la figure 4 est un schéma fonctionnel d'une unité de commande selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5 est un schéma fonctionnel d'une unité de commande selon un deuxième mode de réalisation,
- les figures 6A et 6B illustrent une comparaison entre une transition de la répartition en carburant selon l'art antérieur et une transition de la répartition en carburant selon l'invention de respectivement avec, sur la figure 6A, la variation dans le temps de la répartition de l'alimentation en carburant et, sur la figure 6B, de la pression du circuit d'alimentation en carburant.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas
5 nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

Les différentes possibilités (variantes et modes de réalisation) doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres et peuvent se combiner entre elles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

10 La figure 2 illustre une turbomachine, par exemple un turboréacteur à double flux 10 pour avion, comportant de manière générale une soufflante 12 destinée à l'aspiration d'un flux d'air F1 se divisant en aval de la soufflante en un flux primaire F2 alimentant un cœur du turboréacteur et un flux secondaire F3 contournant ce cœur et destiné à fournir en principe la majeure partie de la poussée.

15 Le cœur du turboréacteur comporte, de manière bien connue, un compresseur basse pression 14, un compresseur haute pression 16, une chambre de combustion 18 par exemple du type annulaire, une turbine haute pression 20 et une turbine basse pression 22. Le turboréacteur est caréné par une nacelle 24 entourant l'espace d'écoulement 26 du flux secondaire. Les rotors du turboréacteur sont montés
20 rotatifs autour d'un axe longitudinal 28 du turboréacteur.

L'invention est néanmoins applicable à tout type de turbomachine.

La chambre de combustion 18 est alimentée en carburant par un circuit d'alimentation en carburant 100 illustré schématiquement sur la figure 3 et des dispositifs d'injection de carburant 181, généralement appelés injecteurs. Chacun des dispositifs
25 d'injection comprend un canal d'éjection de carburant, non illustré, apte à pulvériser du carburant dans la chambre de combustion, par exemple au travers d'orifices correspondants, non illustrés, ménagés dans une paroi de fond de la chambre de combustion. À cet effet, les canaux d'éjection de carburant débouchent directement ou indirectement dans la chambre de combustion 18.

Comme décrit en lien avec l'art antérieur, ces dispositifs d'injection 181 présentent au moins une première et une deuxième partie, non représentées, configurées pour autoriser une alimentation de la chambre de combustion 18 selon un type d'alimentation respectif. La première partie correspond ainsi à un type d'alimentation pilote dédié au faible régime et la deuxième partie correspond à un type d'alimentation principal dédié au haut régime et adapté pour optimiser le taux de combustion de la chambre à ces haut régime de manière à réduire la pollution générée. Ces première et deuxième parties peuvent être :

- soit chacune constituée par des dispositifs d'injection 181 dédiés au type d'alimentation correspondant,
- soit, selon une possibilité préférentielle de l'invention, chacune constituée par une partie de chaque dispositif d'injection 181 qui est dédiée au type d'alimentation correspondant.

Selon cette dernière possibilité, chaque dispositif d'injection 181 peut comporter, par exemple, deux types d'orifices alimentés par un canal d'éjection correspondant :

- un orifice central de dimension relativement importante formant, avec le canal d'éjection correspondant la première partie dudit dispositif d'injection 181,
- des orifices périphériques à l'orifice central et répartis autour de ce même orifice central, ces orifices périphériques formant avec le canal d'éjection correspondant la deuxième partie dudit dispositif d'injection 181.

Quel que soit la configuration de ces dispositifs d'injection 181, la répartition de l'alimentation en carburant de chacune de la première et la deuxième partie est fournie par le circuit d'alimentation en carburant 100.

Le circuit d'alimentation en carburant 100 comprend, comme montré sur la figure 3 :

- un système de mise en pression 10 du carburant apte à alimenter en carburant le circuit d'alimentation en carburant 100 à partir de carburant fourni par l'aéronef équipé de la turbomachine, et à commander l'actionnement de vérins 40 de la turbomachine,

- un débitmètre 110 adapté pour mesurer le débit du carburant transitant dans le circuit d'alimentation en carburant 100, le débit formant une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation 100,

- un dispositif de répartition de l'alimentation 130 en carburant configuré pour commander la répartition en carburant en direction des première et deuxième parties des dispositifs d'injection 181,

- une ligne d'injection pilote 141 configurée pour alimenter en carburant la première partie des dispositifs d'injection 181,

- une ligne d'injection principale 142 configurée pour alimenter en carburant la deuxième partie des dispositifs d'injection 181,

- une unité de commande 30 apte à commander le dispositif de répartition 130 et à faire une mesure de certaines grandeurs hydrauliques du circuit d'alimentation 100, notamment le débit en carburant dans le circuit d'alimentation 100.

Bien entendu, l'unité de commande 30 peut également être apte à commander le dispositif de répartition 130 et à faire une mesure d'une autre grandeur hydraulique que le débit en carburant, par exemple la pression du carburant dans le circuit d'alimentation 100 ceci à l'aide d'un manomètre. En alternative, la grandeur hydraulique mesurée peut consister en la répartition du carburant entre la ligne d'injection pilote et la ligne d'injection principale. Par exemple, si le dispositif de répartition est formé par une vanne munie d'un obturateur mobile sous la forme d'un tiroir coulissant dont la position régit la répartition, la mesure de la répartition du carburant peut s'effectuer en mesurant la position du tiroir. Selon une autre possibilité de l'invention, cette mesure de la répartition peut s'effectuer à l'aide de deux débitmètres disposés respectivement dans la ligne d'injection pilote 141 et la ligne d'injection principale 142.

La ligne d'injection pilote 141 est configurée pour alimenter en carburant la première partie des dispositifs d'injection 181 et la ligne d'injection principale 142 est configurée pour alimenter en carburant la deuxième partie des dispositifs d'injection 181. On notera également que le dispositif de répartition de

l'alimentation 130 est configuré pour commander la répartition de carburant entre la ligne d'injection pilote 141 et la ligne d'injection principale 142.

Selon une configuration avantageuse de l'invention, l'unité de commande 30 est formée par un calculateur de la turbomachine. En variante, l'unité de commande 30 peut être formée par une électronique dédiée uniquement à la commande du circuit d'alimentation 100.

Dans la suite de ce document, dans un but d'allègement, une transition de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote 141 et la ligne d'injection principale 142 d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition pour laquelle la répartition en carburant de la ligne d'injection pilote 141 dans la deuxième valeur est réduite par rapport à celle de cette même ligne d'injection pilote 141 pour la première valeur de répartition, est dénommée « transition de réduction de la répartition pilote ».

La figure 4 illustre un schéma fonctionnel de l'unité de commande 30. Ainsi l'unité de commande 30 comporte :

- un module de régulation de phase stabilisée 310 adapté pour commander les différents éléments du circuit d'alimentation en carburant 100 en dehors des phases de transition de réduction de la répartition pilote, ce module de régulation de phase stabilisée 310 étant configuré pour fournir une commande de la répartition de l'alimentation en carburant entre la ligne d'injection pilote 141 et la ligne d'injection principale 142 similaire aux modules de commande de l'art antérieur,

- un module de détermination de la pression minimale 320 à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation en carburant , telle que la pression du circuit d'alimentation 100, durant une phase de transition de réduction de la répartition pilote à partir d'une configuration de la turbomachine, ladite configuration comportant notamment une information d'état de régime de la turbomachine 402, une information de position 403 des vérins 40 et une information de commande 404 de déplacement des vérins 40, ladite pression minimale à maintenir formant une valeur minimale à maintenir,

- un module de calcul 330 configuré pour calculer à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation 100 et d'une valeur actuelle de la répartition de l'alimentation en carburant, une valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation 100,

5 - un module de comparaison 340 configuré pour comparer la valeur déterminée de la grandeur de pression du circuit d'alimentation 100 et la valeur actuelle calculée de la grandeur de pression du circuit d'alimentation 100 et pour calculer, à partir du résultat de la comparaison, une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir,

10 - un système de sélection 350 configuré pour, à partir d'au moins une valeur d'état 411 de la turbomachine caractéristique d'une transition de réduction de la répartition, sélectionner une valeur de commande de la répartition en alimentation parmi celle fournie par le module de régulation de phase stabilisée 310 et la valeur calculée par le module de comparaison 340.

15 Chacun des modules 310, 320, 330, 340 est fourni soit par un circuit dédié de l'unité de commande 30, soit par un module logiciel installé sur ladite unité de commande 30.

 Selon une possibilité de l'invention la grandeur de pression du circuit d'alimentation 100 peut être aussi bien une valeur de pression du circuit d'alimentation
20 qu'une valeur de force développée par un vérin 40 alimenté par le circuit d'alimentation 100.

 On notera que la valeur d'état 411 est une grandeur caractéristique d'un état correspondant à une transition de réduction de la répartition pilote. Selon une configuration classique, la valeur d'état peut prendre une valeur 1 (ou 0) pendant toute la
25 durée de la transition de réduction de la répartition pilote et une valeur 0 (ou 1) en dehors. Selon une autre possibilité, cette valeur d'état 411 peut comporter une pluralité d'états correspondant à des états de la turbomachine 18 pour lequel une transition de réduction de la répartition pilote est réalisée, et au moins un état pour lequel la turbomachine 18 est en dehors d'une transition de réduction de la répartition pilote.

Concernant le module de détermination de la pression minimale 320, cette détermination peut être réalisée en fonction de l'état de la turbomachine et de manière empirique, les valeurs de la grandeur de pression ayant alors étaient déterminées expérimentalement lors d'expériences préalables en usine. En variante,

5 cette détermination peut être réalisée :

- à partir de simulations en usine permettant de définir des lois concernant les valeur de grandeur de pression minimale pendant une transition de réduction de la répartition pilot,

- à partir de valeurs considérées comme sécuritaires, celle-ci étant

10 surévaluée de manière à garantir une commande des vérins quelle que soit les contraintes appliquées aux vérins.

Le module de calcul 330 est configuré pour calculer la valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation 100 sur la base, par exemple, d'un modèle permettant de déterminer en continu le niveau de pression à partir du débit de

15 carburant et d'une valeur de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote 141 et la ligne d'injection principale 142.

Avec une telle configuration l'unité de commande 30 est configurée pour commander le système de répartition 130 de l'alimentation de manière à fournir une transition de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote 141 et la

20 ligne d'injection principale 142 d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition sur une période de temps correspondante, la répartition de l'alimentation ayant la deuxième valeur répartition à l'issue de la période de temps correspondante .

Qui plus est, l'unité de commande 30 est configurée pour, lors d'une

25 transition de réduction de la répartition pilote, pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

- a) détermination au moins une valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation 100 pendant au moins une partie de la période de temps t_t correspondante,

b) détermination d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation 100, ladite grandeur hydraulique étant, par exemple, le débit en carburant dans le circuit d'alimentation 100,

c) à partir d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation 100, détermination d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression, la valeur calculée de répartition étant intermédiaire entre la première valeur de répartition et la deuxième valeur de répartition,

d) passage de la répartition de l'alimentation en carburant à la valeur calculée de répartition de l'alimentation.

L'unité de commande 30 est en outre configurée pour répéter les étapes b) à d) successivement pendant toute la durée de la période de temps correspondante.

Autrement dit et selon l'invention, avec une telle configuration du circuit d'alimentation 100, l'unité de commande 30 permet la mise en œuvre d'un procédé d'alimentation en carburant d'une turbomachine comportant, lors d'une transition de réduction de la répartition pilote, les étapes suivantes:

a) détermination d'au moins une valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation en carburant pendant au moins une partie de la période de temps,

b) détermination d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation,

c) calcul, à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation 100 déterminée, d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir, la valeur calculée de répartition étant intermédiaire entre la première valeur de répartition et la deuxième valeur de répartition,

d) passage de la répartition de l'alimentation en carburant à la valeur calculée de répartition de l'alimentation,

les étapes b) à d) étant répétées successivement pendant toute la durée de la période de temps correspondante.

Selon ce premier mode de réalisation, l'étape c) de détermination d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant comporte les sous étapes suivantes :

- calcul à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation déterminée et d'une valeur actuelle de la répartition de l'alimentation en carburant, une valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation,
- comparaison de la valeur actuelle calculée de la grandeur de pression calculée de pression du circuit d'alimentation avec la valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée,
- calcul, à partir du résultat de la comparaison, de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir.

Selon une possibilité de l'invention, il est également envisageable que lors de la répétition successive des étapes b) à d), l'étape a) soit également répétée. Selon cette possibilité l'étape a) permet de déterminer une valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation en carburant pendant à une fraction de période de donné de la période de temps.

La figure 4 illustre un schéma fonctionnel d'une unité de commande d'un circuit d'alimentation en carburant 100 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Un circuit d'alimentation en carburant 100 selon ce deuxième mode de réalisation se différencie d'un circuit d'alimentation en carburant 100 selon le premier mode de réalisation en ce que l'unité de commande présente, en lieu et place du module de calcul 330 et du module de comparaison, un module de calcul direct 335.

Le module de calcul direct 335 est configuré pour calculer une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant à partir de l'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation en carburant déterminée et de la valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée.

Selon ce deuxième mode de réalisation le système de sélection 350 configuré pour, à partir de l'au moins une valeur d'état 411 de la turbomachine caractéristique d'une transition de réduction de la répartition, sélectionner une valeur de

commande de la répartition en alimentation parmi celle fournie par le module de régulation de phase stabilité 310 et la valeur calculée par le module de calcul direct 335.

Le calcul de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant peut être réalisé sur la base d'une équation découlant directement ou indirectement de l'équation (1)

Ainsi, selon ce deuxième mode de réalisation, le procédé de commande de l'alimentation en carburant se différencie d'un procédé de commande de l'alimentation en carburant selon le premier mode de réalisation en ce que l'étape c) de détermination d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant consiste en: une étape de calcul de ladite valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant à partir de l'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation en carburant déterminée et de la valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée.

Que ce soit le circuit d'alimentation en carburant 100 soit selon le premier mode de réalisation ou selon le deuxième mode de réalisation, un tel circuit d'alimentation 100 permet de fournir, lors d'une transition de réduction de la répartition pilote et comme illustré sur les figures 6A et 6B, une pression dans le circuit d'alimentation en carburant compatible avec les besoins en pression pour permettre le déplacement des vérins 40.

En effet, les figures 6A et 6B illustrent une telle comparaison avec, en figure 6A, la variation dans de le temps de la répartition de l'alimentation en carburant 531 532 et, en figure 6B, de la pression 541, 542 du circuit d'alimentation 100. La figure 6B montre également, en pointillés, le résultat d'une détermination de la valeur de pression minimale 543 du circuit d'alimentation 100 nécessaire pendant la transition de réduction de la répartition pilote.

On notera qu'une telle valeur minimale nécessaire 543 peut être différente de la valeur minimale à maintenir selon l'invention puisque, selon l'invention, la valeur minimale à maintenir peut correspondre à la valeur minimale nécessaire à laquelle s'ajoute une réserve de pression.

On peut voir sur la figure 6B, qu'avec un procédé de l'art antérieur dans lequel la transition d'alimentation en carburant entre la ligne d'injection pilote 141 et la ligne d'injection principale 142 est abrupte, comme celle illustrée sur la figure 6A, cette transition entraîne une forte baisse de la pression dans le circuit d'alimentation 100 et celle-ci devient inférieure à la valeur minimale de pression nécessaire. Les déplacements des vérins 40 s'en trouvant donc partiellement compris. Après cette forte baisse de la pression, l'augmentation du débit de carburant dans le circuit d'alimentation 100 aboutit à une augmentation de la pression et permet, après une période de temps relativement importante d'atteindre la valeur minimale nécessaire. Les déplacements des vérins 40 s. Néanmoins, on peut voir qu'avec le procédé de l'art antérieur, la pression dans le circuit d'alimentation 100 reste inférieure à la valeur minimale de pression nécessaire pendant une période de temps relativement importante.

Dans le cadre de l'invention, de par la mise en œuvre du procédé selon l'invention, on peut voir que la baisse de la répartition de l'alimentation présente une baisse de l'alimentation de la ligne pilote qui est graduelle, ceci afin de maintenir la valeur de pression à la valeur de pression minimale à maintenir. Cette baisse graduelle est directement liée à l'augmentation du débit de carburant dans le circuit d'alimentation 100. Ainsi, une fois le débit de carburant stabilisé la répartition de l'alimentation 532 est également stabilisée par la mise en œuvre du procédé. On notera que, selon le principe de l'invention, à l'issue de la période de temps t_t , la répartition de l'alimentation 532 est ramenée à la deuxième valeur.

On notera que si un tel procédé est particulièrement avantageux dans le cas d'une transition de réduction de la répartition pilote lié à une accélération de la turbomachine 10, c'est-à-dire lors d'un passage d'un bas régime à un haut régime, il est également avantageux lors d'autre phase de fonctionnement de la turbomachine. On citera ainsi, en particulier, les cas de :

- d'ingestion d'éléments extérieurs, tels qu'un oiseau, de l'eau de pluie/neige et de la grêle, l'alimentation de la turbomachine passant lors d'une telle ingestion à un régime de mélange dit « riche »,
- lors d'un décrochage tournant.

Ainsi, le circuit d'alimentation selon l'invention et le procédé qui est associé permet de fournir, quelle que soit la phase de la turbomachine 10 nécessitant une transition de réduction de la répartition pilote, de fournir la pression nécessaire aux vérins 40 afin d'assurer la réactivité nécessaire dans la commande en déplacement de ces

5 vérins 40.

REVENDICATIONS

1. Procédé de commande d'injection de carburant dans une chambre de combustion (18) d'une turbomachine (10), la turbomachine (10) comprenant un circuit d'alimentation (100) en carburant d'un système d'injection de la chambre de combustion (18), ledit circuit d'alimentation (100) comprenant une ligne d'injection pilote (141) et une ligne d'injection principale (142) entre lesquelles est répartie l'alimentation en carburant de la chambre de combustion (18),

dans lequel procédé de commande, une transition de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote (141) et la ligne d'injection principale (142) d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition est réalisée sur une période de temps correspondante (tt), la répartition de l'alimentation ayant la deuxième valeur de répartition à l'issue de la période de temps correspondante (tt),

le procédé de commande comprenant, pour une transition de la répartition de l'alimentation d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition pour laquelle la répartition en carburant de la ligne d'injection pilote (141) est réduite par rapport à celle de cette même ligne d'injection pilote (141) pour la première valeur de répartition, les étapes suivantes:

a) détermination d'au moins une valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) pendant au moins une partie de la période de temps,

b) détermination d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100),

c) calcul, à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100) déterminée, d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression, la valeur calculée de répartition étant intermédiaire entre la première valeur de répartition et la deuxième valeur de répartition,

d) passage de la répartition de l'alimentation en carburant à la valeur calculée de répartition,

au moins les étapes b) à d) étant répétées successivement pendant toute la durée de la période de temps correspondante (tt).

2. Procédé de commande d'injection de carburant selon la revendication 1 dans lequel l'étape c) de calcul de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant comporte les sous étapes suivantes :

- calcul à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100) déterminée et d'une valeur actuelle de la répartition de l'alimentation en carburant, d'une valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100),

- comparaison de la valeur actuelle calculée de la grandeur de pression du circuit d'alimentation avec la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée,

- calcul, à partir du résultat de la comparaison, de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir.

3. Procédé de commande d'injection selon la revendication 1, dans lequel l'étape c) de calcul de la valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant consiste en une étape de calcul de ladite valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant à partir de l'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation en carburant déterminée et de la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation déterminée.

4. Procédé de commande d'injection de carburant selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la grandeur de pression est choisie parmi une valeur de pression du circuit d'alimentation et une valeur de force développée par un vérin alimenté par le circuit d'alimentation, et la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation est une valeur du débit d'alimentation en carburant de la chambre d'injection (18).

5. Procédé de commande d'injection de carburant selon l'une quelconque de revendication 1 à 4, dans lequel lors de la répétition successive des étapes b) à d), l'étape a) est également répétée, celle-ci permettant de déterminer une valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation en carburant pendant une fraction de période de la période de temps (tt) correspondant.

6. Circuit d'alimentation (100) en carburant pour une turbomachine, le circuit de carburant comportant :

- une ligne d'injection pilote (141) destinée à alimenter une partie pilote d'un système d'injection d'une chambre de combustion de la turbomachine,
- une ligne d'injection principale (142) destinée à alimenter une partie principale du système d'injection de la chambre de combustion,
- un dispositif de répartition de l'alimentation (130) en carburant configuré pour commander la répartition en carburant entre la ligne d'injection pilote (141) et la ligne d'injection principale (142),
- une unité de commande (30) apte à commander le dispositif de répartition de l'alimentation (130) et à faire une mesure de certaines grandeurs hydrauliques du circuit d'alimentation (100),

l'unité de commande (30) étant configurée pour commander le système de répartition (130) de manière à fournir une transition de la répartition de l'alimentation entre la ligne d'injection pilote (141) et la ligne d'injection principale (142) d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition sur une période de temps correspondante (tt), la répartition de l'alimentation ayant la deuxième valeur répartition à l'issue de la période de temps correspondante,

le circuit d'alimentation en carburant (100) **étant caractérisé en ce que** l'unité de commande (30) est en outre configurée pour, lors d'une commande du système de répartition (130) en carburant pour effectuer une transition de la répartition de l'alimentation d'une première valeur de répartition vers une deuxième valeur de répartition pour laquelle la répartition en carburant de la ligne d'injection pilote (141) est

réduite par rapport à celle de cette même ligne d'injection pilote (141) pour la première valeur de répartition, mettre en œuvre les étapes suivantes :

a) déterminer au moins une valeur minimale à maintenir d'une grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) pendant au moins une partie de la période de temps correspondant (tt),

b) détermination d'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100),

c) calcul, à partir de la grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100) déterminée, d'une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression, la valeur calculée de répartition étant intermédiaire entre la première valeur de répartition et la deuxième valeur de répartition,

d) passage de la répartition de l'alimentation à la valeur calculée de répartition de l'alimentation,

l'unité de commande (30) étant en outre configurée pour répéter les étapes b) à d) successivement pendant toute la durée de la période de temps correspondante (tt).

7. Circuit d'alimentation (100) selon la revendication 6 dans lequel l'unité de commande (30) comporte :

- un module de détermination de la pression minimale (320) configuré pour déterminer une valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) pendant au moins une partie de la période de temps correspondant (tt),

- un module de calcul (330) configuré pour calculer à partir d'une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100) déterminée et d'une valeur actuelle de la répartition de l'alimentation en carburant, une valeur actuelle de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100),

- un module de comparaison (340) configuré pour comparer la valeur actuelle calculée de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) avec la valeur

minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) déterminée, et pour calculer, à partir du résultat de la comparaison, une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant correspondant à la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) déterminée.

5

8. Circuit d'alimentation (100) selon la revendication 6, dans lequel l'unité de commande (30) comporte

- un module de détermination de la pression minimale (320) configuré pour déterminer une valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) pendant au moins une partie de la période de temps correspondant (tt),

- un module de calcul direct (335) configuré pour calculer une valeur calculée de répartition de l'alimentation en carburant à partir de l'au moins une grandeur hydraulique du circuit d'alimentation (100) déterminée et de la valeur minimale à maintenir de la grandeur de pression du circuit d'alimentation (100) déterminée.

15

9. Circuit d'alimentation (100) selon l'une quelconque des revendications 6 à 8 dans lequel l'unité de commande (30) est un calculateur de turbomachine.

20

10. Turbomachine (10) comprenant une chambre d'injection (18), ladite chambre d'injection (18) comprenant un système d'injection, ladite turbomachine (10) étant caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un circuit d'alimentation en carburant (100) selon l'une quelconque des revendication 6 à 9 alimentant en carburant le système d'injection.

25

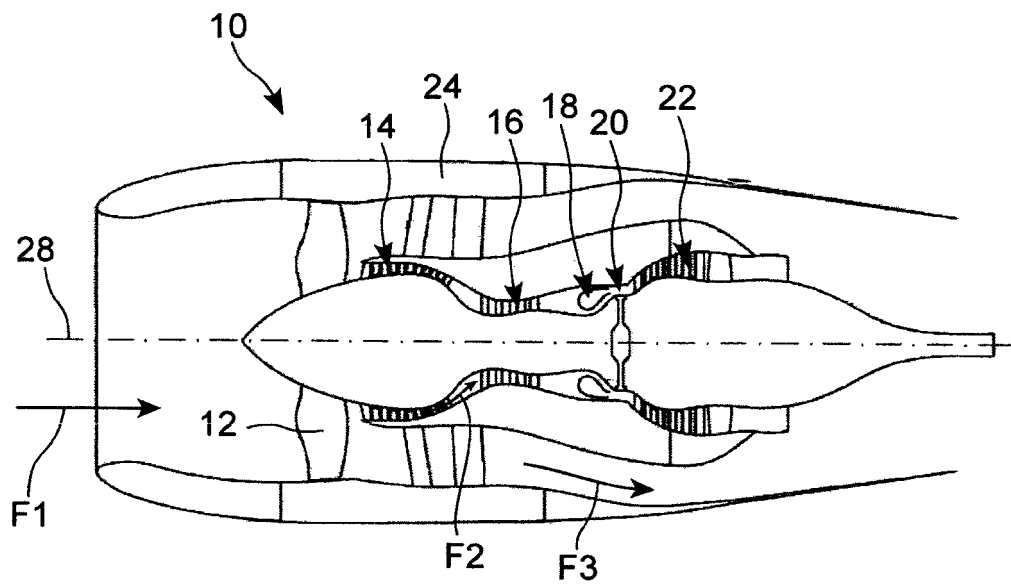


FIG. 2

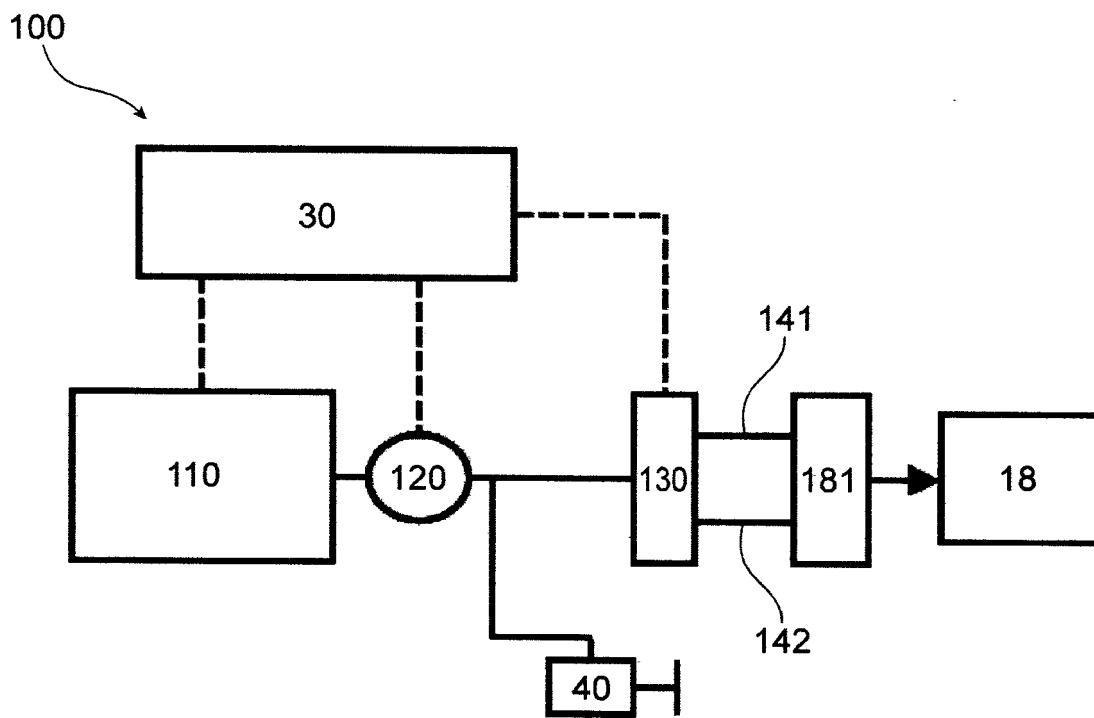


FIG. 3

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 5 916 126 A (SZILLAT JOHN C [US] ET AL) 29 juin 1999 (1999-06-29)

US 2015/027100 A1 (QIN YONG [GB] ET AL) 29 janvier 2015 (2015-01-29)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT