

(19)



(11)

EP 3 088 741 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
25.12.2019 Bulletin 2019/52

(51) Int Cl.:
F04D 13/04 ^(2006.01) **F04D 13/06** ^(2006.01)
F04D 15/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16167333.0**

(22) Date de dépôt: **27.04.2016**

(54) **SYSTÈME DE CONTRÔLE AMÉLIORÉ POUR UNE TURBOPOMPE**

VERBESSERTES KONTROLLSYSTEM FÜR EINE TURBOPUMPE

IMPROVED CONTROL SYSTEM FOR A TURBO PUMP

(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**

(30) Priorité: **28.04.2015 FR 1500900**

(43) Date de publication de la demande:
02.11.2016 Bulletin 2016/44

(73) Titulaire: **ArianeGroup SAS
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Klein, Manuel
27200 Vernon (FR)**
• **Deneuve, Ariane
78300 Poissy (FR)**

(74) Mandataire: **Gilbey, Vincent et al
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)**

(56) Documents cités:
**CA-A1- 2 394 819 FR-A- 1 099 107
US-A- 5 906 098**

EP 3 088 741 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

[0001] La présente invention concerne le domaine des turbopompes, utilisées notamment pour les engins spatiaux.

ETAT DE L'ART

[0002] Les turbopompes utilisées pour les moteurs d'engins spatiaux doivent communément fonctionner sur des domaines étendus.

[0003] Le contrôle des turbopompes est communément réalisé soit via le pilotage du débit en entrée de la turbopompe, par exemple en restreignant le débit en aval de la turbopompe, soit via le pilotage de la vitesse de rotation d'un arbre d'entraînement de la turbopompe, par exemple en contrôlant l'énergie apportée à cet arbre d'entraînement, communément par une turbine.

[0004] Un tel contrôle est adapté dans la plage nominale de fonctionnement d'une turbopompe, une fois démarrée et en régime stable, et disposant de suffisamment d'énergie pour permettre un gain important entre un actionneur et le paramètre à contrôler.

[0005] Les turbopompes présentent en effet plusieurs régimes stables, à savoir :

- R1 : A l'arrêt,
- R2 : En attente, dans lequel la turbopompe est en fonctionnement mais sa vitesse de rotation et le couple appliqué sont minimisés,
- R3 : En régime nominal, à vitesse de rotation et couple élevés.

[0006] Ces régimes R1, R2 et R3 sont indiqués schématiquement sur la figure 1, en fonction de la poussée délivrée (axe horizontal X) et de la vitesse de rotation (axe vertical Y).

[0007] Le document CA 2394819 présente ainsi un exemple de turbopompe.

[0008] Les contrôles conventionnels ne sont cependant pas adaptés pour permettre un fonctionnement en régime stable entre le régime d'attente R2, et le régime nominal R3 de la turbopompe. En effet, les turbopompes ont tendance soit à converger vers le régime nominal du fait d'apports d'énergie résultant du cycle thermodynamique ayant lieu au sein de la turbopompe, soit à demeurer en régime d'attente en l'absence d'apport d'énergie additionnelle.

[0009] On cherche ainsi à obtenir un fonctionnement amélioré entre le régime d'attente et le régime nominal.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0010] La présente invention vise à répondre au moins en partie à ces problématiques, et propose ainsi une turbopompe comprenant

- un ensemble fixe définissant un stator de la turbopompe, et
- un ensemble mobile définissant un rotor de la turbopompe, comprenant un arbre d'entraînement, et un organe d'entraînement adapté pour entraîner l'arbre d'entraînement,

caractérisée en ce que la turbopompe comprend un générateur magnétique de couple configuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement.

[0011] La turbopompe comprend en outre une unité de commande, configurée de manière à piloter le générateur magnétique de couple afin d'appliquer sélectivement un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement par exemple en fonction de l'état de la turbopompe ou d'une commande appliquée par un logiciel de commande.

[0012] Le générateur magnétique de couple comprend par exemple des pôles magnétiques disposés sur le stator et sur le rotor de la turbopompe, de manière à former une machine synchrone.

[0013] En variante, le générateur magnétique de couple comprend par exemple des pôles magnétiques disposés sur le stator, et un matériau ferromagnétique disposé sur le rotor, adapté pour permettre la génération d'un champ induit, de manière à former une machine asynchrone.

[0014] Le générateur magnétique de couple est par exemple configuré de manière à générer un flux radial et/ou axial.

[0015] Le générateur magnétique de couple peut être configuré de manière à établir un champ magnétique de maintien radial de l'arbre d'entraînement et réaliser ainsi une fonction palier, et/ou configuré de manière à former une butée limitant le déplacement axial de l'arbre d'entraînement et réaliser ainsi une fonction d'équilibrage. Ledit champ magnétique de maintien est par exemple un champ répulsif, configuré pour maintenir l'arbre d'entraînement espacé du stator de la turbopompe.

PRESENTATION DES FIGURES

[0016] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des figures annexées, sur lesquelles :

- La figure 1 présentée précédemment illustre les modes de fonctionnement conventionnels d'une turbopompe,
- La figure 2 présente schématiquement un système selon un aspect de l'invention,
- La figure 3 illustre les modes de fonctionnement obtenus au moyen d'un tel système.

[0017] Sur l'ensemble des figures, les éléments en commun sont repérés par des références numériques

identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0018] La figure 2 présente schématiquement une turbopompe 1 selon un aspect de l'invention.

[0019] La turbopompe 1 représentée comprend un ensemble fixe définissant un stator, et un ensemble mobile définissant un rotor.

[0020] Le rotor de la turbopompe 1 comprend par exemple un arbre d'entraînement 2, typiquement entraîné en rotation par une turbine, non représentée sur cette figure, ou tout autre organe d'entraînement en rotation approprié.

[0021] L'arbre d'entraînement 2 réalise l'entraînement en rotation du rotor de la turbopompe 1, et assure ainsi son fonctionnement.

[0022] L'ensemble fixe comprend par exemple un carter 3 de la turbopompe 1, ainsi que des paliers 4 permettant de monter l'arbre d'entraînement 2 tournant par rapport au carter 3.

[0023] Comme indiqué précédemment en référence à la figure 1, la turbopompe 1 présente plusieurs régimes stables, à savoir :

- R1 : A l'arrêt,
- R2 : En attente, dans lequel la turbopompe est en fonctionnement mais sa vitesse de rotation et le couple appliqué sont minimisés,
- R3 : En régime nominal, à vitesse de rotation et couple élevés.

[0024] Ces régimes R1, R2 et R3 sont indiqués schématiquement sur la figure 1, en fonction de la poussée délivrée (axe horizontal X) et de la vitesse de rotation (axe vertical Y).

[0025] Les régimes R2 et R3, correspondant aux régimes stables de fonctionnement de la turbopompe sont disjoints, c'est-à-dire qu'une transition continue du régime R2 vers le régime R3 (ou inversement) n'est possible qu'en passant par un régime intermédiaire instable, et qu'un fonctionnement hors de ces deux régimes R2 ou R3 va tendre naturellement à ramener la turbopompe vers l'un ou l'autre de ces régimes stables.

[0026] La turbopompe 1 comprend de plus un générateur magnétique de couple 5, configuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement 2.

Le générateur magnétique de couple 5 comprend une partie fixe 51, par exemple des pôles magnétiques disposés sur le stator de la turbopompe 1, et une partie mobile 52 montée sur l'arbre d'entraînement 2, par exemple des pôles magnétiques ou des portions comprenant un matériau ferromagnétique.

[0027] Le générateur magnétique de couple 5 est associé à une commande 6, configurée de manière à piloter le couple appliqué par le générateur magnétique de couple 5 sur l'arbre d'entraînement 2. La commande 6 com-

prend typiquement un capteur de position de l'arbre d'entraînement 2, afin de piloter le couple appliqué par le générateur magnétique de couple 5 en fonction notamment de la position de l'arbre d'entraînement 2.

[0028] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, le générateur magnétique de couple 5 est disposé entre deux paliers 4 de l'arbre d'entraînement 2. Un tel positionnement n'est pas limitatif ; le générateur magnétique de couple 5 peut également être disposé à une extrémité de l'arbre d'entraînement 2, ou selon toute autre configuration adaptée. Les pôles magnétiques de la partie fixe 51 et de la partie mobile 52 peuvent par exemple être répartis selon plusieurs portions distinctes de l'arbre d'entraînement 2.

[0029] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, le générateur magnétique de couple 5 est à flux radial. Un autre mode de réalisation non représenté est le générateur de couple à flux axial.

[0030] On distingue deux modes de fonctionnement du générateur magnétique de couple 5, selon la nature de ses parties fixe 51 et mobile 52.

[0031] Dans le cas où la partie fixe 51 et la partie mobile sont des pôles magnétiques, le générateur magnétique de couple 5 présente un fonctionnement similaire à celui d'une machine synchrone.

Dans le cas où la partie fixe 51 du générateur magnétique de couple 5 comprend des pôles magnétiques, alors que la partie mobile 52 du générateur magnétique de couple 5 comprend des portions comprenant un matériau ferromagnétique, le générateur magnétique de couple 5 présente un fonctionnement similaire à celui d'une machine asynchrone.

[0032] Quel que soit le mode de fonctionnement, le contrôle de la phase et de l'intensité du courant du générateur magnétique de couple 5 permet de contrôler le champ tournant généré, et ainsi de contrôler le couple produit par le générateur magnétique de couple 5 sur l'arbre d'entraînement 2.

Le couple ainsi produit par le générateur magnétique de couple 5 sur l'arbre d'entraînement 2 peut être piloté de manière fine, permettant ainsi une maîtrise du couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2.

[0033] Le générateur magnétique de couple 5 permet ainsi de générer un couple sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe, et permet donc de modifier ses modes de fonctionnement.

[0034] Plus précisément, en fonction du champ tournant généré et du couple produit, ainsi que de la vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement 2, le générateur magnétique de couple 5 produit un couple pouvant être un couple moteur ou un couple résistant sur l'arbre d'entraînement 2.

[0035] Ainsi, le générateur magnétique de couple 5 permet d'obtenir un régime stable additionnel de la turbopompe entre le régime nominal R3 et le régime d'attente R2 déjà décrits en référence à la figure 1.

[0036] On représente sur la figure 3 les modes de fonctionnement obtenus pour la turbopompe 1 au moyen d'un

tel système, en indiquant la poussée selon l'horizontal X et la vitesse de rotation en tours par minute selon l'axe vertical Y.

Comme déjà décrit en référence à la figure 1, on représente sur la figure 3 plusieurs régimes stables, à savoir :

- R1 : A l'arrêt,
- R2 : En attente, dans lequel la turbopompe est en fonctionnement mais sa vitesse de rotation et le couple appliqué sont minimisés,
- R3 : En régime nominal, à vitesse de rotation et couple élevés.

On représente de plus sur la figure 3 un régime R4, intermédiaire entre le régime d'attente R2 et le régime nominal R3, et pouvant être obtenu grâce à l'action du générateur magnétique de couple 5.

[0037] Un tel régime R4 stable est obtenu en appliquant un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe 1, lorsque cette dernière est en régime d'attente R2 ou en régime nominal R3.

[0038] Lorsque la turbopompe 1 est en régime d'attente R2, le générateur magnétique de couple 5 peut appliquer un couple moteur sur l'arbre d'entraînement 2, afin d'augmenter la vitesse de rotation et le couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe 1, et donc réaliser une montée en régime de la turbopompe 1.

A l'inverse, lorsque la turbopompe 1 est en régime nominal R3, le générateur magnétique de couple 5 peut appliquer un couple résistant sur l'arbre d'entraînement 2, afin d'en diminuer la vitesse de rotation et le couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe 1, et donc réaliser une baisse en régime de la turbopompe 1.

[0039] Ainsi, le générateur magnétique de couple 5 permet, via l'application d'un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement 2, d'atteindre des points de fonctionnement stables entre le régime d'attente R2 et le régime nominal R3, en contrôlant le couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2.

On obtient ainsi un domaine de stabilité additionnel pour la turbomachine, repéré par la région R4 sur la figure 3.

[0040] L'application d'un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement 2 permet de plus d'améliorer la transition entre le régime nominal R3 et le régime d'attente R2, soit en amorçant la montée en régime pour passer du régime d'attente R2 au régime nominal R3 et également pour améliorer le démarrage de la turbopompe pour passer d'un état d'arrêt R1 au régime d'attente R2, soit en dissipant l'énergie apportée communément par la turbine et ainsi en réalisant une baisse du régime nominal R3 vers le régime d'attente R2.

[0041] Par ailleurs, le générateur magnétique de couple 5 permet de réaliser un entraînement de l'arbre d'entraînement à des vitesses de rotation très faibles et contrôlées, ce qui permet de réaliser une circulation d'ergols cryogéniques dans la turbopompe afin de réaliser sa mise en froid, c'est-à-dire son refroidissement graduel de

la température ambiante aux températures cryogéniques de fonctionnement.

Une telle circulation maîtrisée d'ergols permet de réduire la consommation d'ergols par rapport aux procédés conventionnels de mise en froid.

[0042] En outre, le contrôle précis du couple au démarrage permet de préciser la conception des séquences de démarrage de la turbopompe, notamment en s'affranchissant d'imprécisions dues notamment aux régimes à faible vitesse des turbopompes conventionnelles dont les propriétés ne sont pas connues de manière suffisamment précise dans les phases de conception.

[0043] Le générateur magnétique de couple 5 permet également de réaliser une fonction de maintien de l'arbre d'entraînement 2, en formant une butée axiale ou un palier pour l'arbre d'entraînement 2.

Pour ce faire, le générateur magnétique de couple 5 est configuré de manière à générer une force de répulsion entre le stator et le rotor, ou plus précisément entre la partie fixe 51 et la partie mobile 52 du générateur magnétique de couple 5. Un tel champ répulsif est typiquement réalisé en générant un flux stator opposé au flux rotor, par exemple en générant un champ tournant à une vitesse très élevée, ou en réalisant une configuration passive dans laquelle les pôles Nord/Sud du rotor sont en permanence en phase avec les pôles Sud/Nord (respectivement) du stator.

[0044] La force de répulsion ainsi générée permet d'éviter le contact entre l'arbre d'entraînement 2 et le stator, ce qui est avantageux à la fois en termes de rendement et d'usure.

[0045] On note par ailleurs que le générateur magnétique de couple 5 est un système réversible, et que la rotation de l'arbre d'entraînement 2 peut ainsi être exploitée afin de générer de l'électricité dès lors qu'un convertisseur électrique associé est également réversible, par exemple lorsque la turbopompe 1 est dans un régime stable tel que le régime nominal R3, pour lequel il n'est pas nécessaire d'appliquer un couple via le générateur magnétique de couple 5.

[0046] Les différentes fonctions réalisées grâce au générateur magnétique de couple 5 peuvent être regroupées. On peut par exemple en fonction du régime de la turbopompe 1, réaliser une fonction d'application de couple sur l'arbre d'entraînement 2 ou de récupération d'énergie afin de générer de l'électricité.

Revendications

1. Turbopompe (1) d'engin spatial comprenant

- un ensemble fixe définissant un stator de la turbopompe (1), et
- un ensemble mobile définissant un rotor de la turbopompe, comprenant un arbre d'entraînement (2),
- un générateur magnétique de couple (5) con-

figuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement (2),
- un organe d'entraînement adapté pour entraîner l'arbre d'entraînement (2)

la turbopompe (1) présentant deux régimes stables de fonctionnement (R2, R3) disjoints, **caractérisée en ce qu'elle** comprend en outre une unité de commande (6), configurée de manière à piloter le générateur magnétique de couple (5) afin d'appliquer sélectivement un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement (2) en fonction d'une commande appliquée, de manière à définir un régime intermédiaire stable (R4) entre lesdits deux régimes stables de fonctionnement (R2, R3) disjoints.

2. Turbopompe (1) selon la revendication 1, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) comprend des pôles magnétiques (51, 52) disposés sur le stator et sur le rotor de la turbopompe, de manière à former une machine synchrone.
3. Turbopompe (1) selon la revendication 1, dans laquelle le générateur magnétique de couple comprend des pôles magnétiques (51) disposés sur le stator, et un matériau ferromagnétique (52) disposé sur le rotor, adapté pour permettre la génération d'un champ induit, de manière à former une machine asynchrone.
4. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à générer un flux radial.
5. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à générer un flux axial.
6. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à établir un champ magnétique de maintien de l'arbre d'entraînement, configuré de manière à former une butée limitant le déplacement axial de l'arbre d'entraînement (2).
7. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à réaliser un maintien radial de l'arbre d'entraînement (2), et ainsi maintenir l'arbre d'entraînement (2) espacé du stator de la turbopompe (1).

Patentansprüche

1. Turbopompe (1) eines Raumfahrzeugs, umfassend:

- eine feste Anordnung, die einen Stator der Turbopumpe (1) definiert, und
- eine bewegliche Anordnung, die einen Rotor der Turbopumpe definiert, umfassend eine Antriebswelle (2),
- einen magnetischen Drehmomenterzeuger (5), der ausgelegt ist, um selektiv ein Drehmoment an die Antriebswelle (2) anzulegen,
- ein Antriebselement, das geeignet ist, um die Antriebswelle (2) anzutreiben,

wobei die Turbopumpe (1) zwei getrennte stabile Betriebsarten (R2, R3) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass sie außerdem eine Kontrolleinheit (6) umfasst, die ausgelegt ist, um den magnetischen Drehmomenterzeuger (5) zu steuern, um selektiv ein Motordreh- oder Lastmoment an die Antriebswelle (2) als Funktion eines erteilten Kontrollbefehls anzulegen, um eine stabile Zwischenbetriebsart (R4) zwischen den beiden getrennten stabilen Betriebsarten (R2, R3) zu definieren.

2. Turbopumpe (1) nach Anspruch 1, wobei der magnetische Drehmomenterzeuger (5) Magnetpole (51, 52) umfasst, die am Stator und am Rotor der Turbopumpe angeordnet sind, um eine synchrone Maschine zu bilden.
3. Turbopumpe (1) nach Anspruch 1, wobei der magnetische Drehmomenterzeuger Magnetpole (51), die am Stator angeordnet sind, und ein ferromagnetisches Material (52), das am Rotor angeordnet ist, und das geeignet ist, um die Erzeugung eines induzierten Magnetfelds zu gestatten, um eine asynchrone Maschine zu bilden, umfasst.
4. Turbopumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der magnetische Drehmomenterzeuger (5) ausgelegt ist, um einen radialen Fluss zu erzeugen.
5. Turbopumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der magnetische Drehmomenterzeuger (5) ausgelegt ist, um einen axialen Fluss zu erzeugen.
6. Turbopumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der magnetische Drehmomenterzeuger (5) ausgelegt ist, um ein Magnetfeld zum Halten der Antriebswelle festzulegen, das ausgelegt ist, um einen Anschlag zu bilden, der die axiale Bewegung der Antriebswelle (2) begrenzt.
7. Turbopumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der magnetische Drehmomenterzeuger (5) ausgelegt ist, um ein radiales Halten der Antriebswelle (2) vorzunehmen, und somit die Antriebswelle (2) in einem Abstand vom Stator der Turbopumpe (1) zu halten.

Claims

1. A turbopump (1) for a spacecraft comprising:
 - a fixed assembly defining a stator of the turbopump (1), and 5
 - a movable assembly defining a rotor of the turbopump, comprising a driving shaft (2),
 - a magnetic torque generator (5) configured to selectively apply a torque on the driving shaft (2), 10
 - a driving member adapted to drive the driving shaft (2)

the turbopump (1) having two disjoint operating steady states (R2, R3), 15

characterized in that it further comprises a control unit (6), configured to drive the magnetic torque generator (5) in order to selectively apply an engine or resisting torque onto the driving shaft (2) according to an applied command, so as to define an intermediate steady state (R4) between said two disjoint operating steady states (R2, R3). 20
2. The turbopump (1) according to claim 1, wherein the magnetic couple generator (5) comprises magnetic poles (51, 52) disposed on the stator and on the rotor of the turbopump, so as to form a synchronous machine. 25
3. The turbopump (1) according to claim 1, wherein the magnetic torque generator comprises magnetic poles (51) disposed on the stator, and a ferromagnetic material (52) disposed on the rotor, adapted to allow the generation of an induced field, so as to form an asynchronous machine. 30 35
4. The turbopump (1) according to any of claims 1 to 3, wherein the magnetic torque generator (5) is configured to generate a radial flow. 40
5. The turbopump (1) according to any of claims 1 to 4, wherein the magnetic torque generator (5) is configured to generate an axial flow.
6. The turbopump (1) according to any of claims 1 to 5, wherein the magnetic torque generator (5) is configured to establish a magnetic field for holding the driving shaft, configured to form an abutment limiting the axial displacement of the driving shaft (2). 45 50
7. The turbopump (1) according to any of claims 1 to 6, wherein the magnetic torque generator (5) is configured to carry out a radial holding of the driving shaft (2), and thus hold the driving shaft (2) spaced from the stator of the turbopump (1). 55

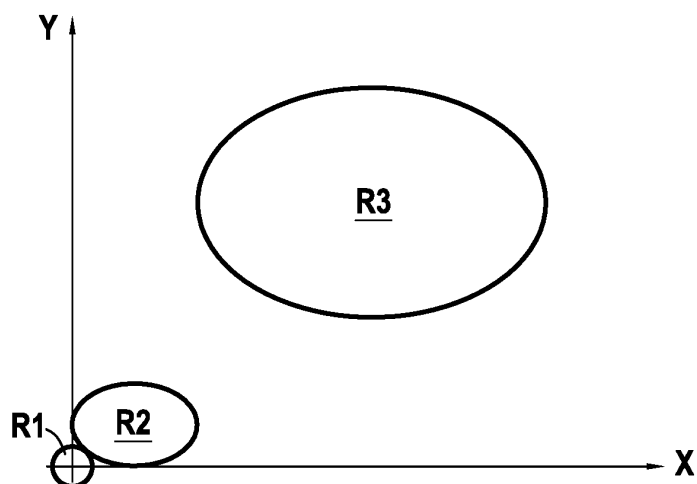


FIG.1

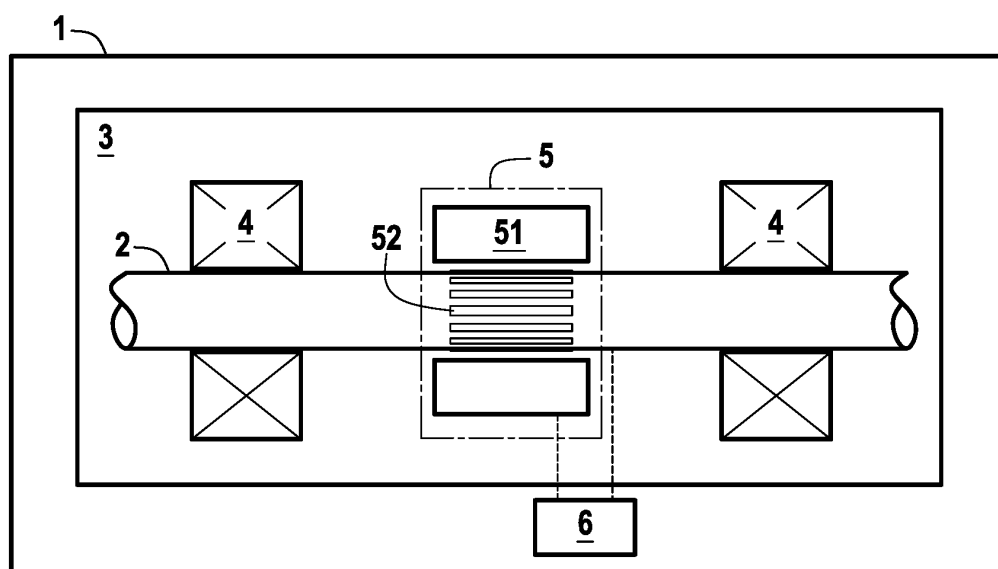


FIG.2

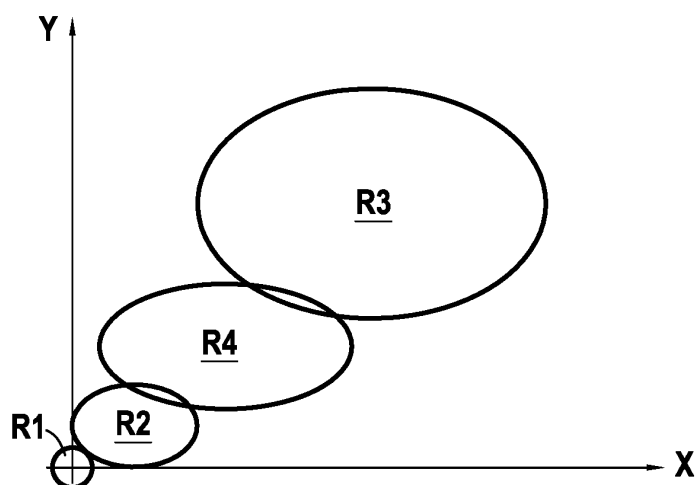


FIG.3

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- CA 2394819 [0007]