

⑤④ ENSEMBLE COMBINANT UNE TURBINE A GAZ ET UN CYCLE A FLUIDE CALOPORTEUR.

②② Date de dépôt : 18.10.18.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *PSA AUTOMOBILES SA Société
anonyme* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.04.20 Bulletin 20/17.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 12.08.22 Bulletin 22/32.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BOU NADER WISSAM.

⑦③ Titulaire(s) : PSA AUTOMOBILES SA Société
anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : PSA AUTOMOBILES SA Société
anonyme.



ENSEMBLE COMBINANT UNE TURBINE A GAZ ET UN CYCLE A FLUIDE CALOPORTEUR

La présente invention se rapporte au domaine des machines thermodynamiques. L'invention concerne plus particulièrement un ensemble combinant une turbine à gaz et un cycle à fluide caloporteur.

Les turbines à gaz sont connues dans la production d'électricité. Ces machines consistent en un compresseur qui comprime l'air et augmente sa pression, une chambre de combustion qui utilise un carburant et produit de l'énergie thermique et une turbine qui sert à récupérer le travail des gaz. Une partie de la puissance produite par la turbine sert pour entraîner le compresseur et une autre partie pour entraîner un générateur électrique et produire de la puissance électrique. Dans le cas d'une application automobile, cette électricité peut servir à recharger la batterie d'un véhicule.

Ces machines présentent un rendement relativement faible. Un des moyens d'augmenter le rendement, est de coupler la turbine à gaz à un cycle de Rankine pour récupérer l'énergie thermique perdue en sortie de la turbine et produire du travail. Le cycle vapeur consiste en une pompe pour pressuriser le fluide de travail (généralement de l'eau), un échangeur de chaleur pour récupérer une partie de la puissance thermique rejetée en sortie de la turbine à gaz, une turbine de détente de la vapeur et un condenseur pour rejeter l'énergie en sortie. La turbine de détente peut également entraîner un générateur électrique pour produire de l'électricité.

Afin d'augmenter le rendement on peut augmenter la température en entrée de la turbine, toutefois l'augmentation de la température nécessite l'utilisation de matériaux spécifiques et des systèmes de refroidissement des aubes turbines qui sont chers, en particulier pour le domaine de l'automobile.

Par conséquent, le problème à la base de l'invention est d'améliorer le rendement de ces machines en limitant les niveaux de températures en entrée de la turbine

Pour atteindre cet objectif, il est prévu selon l'invention un ensemble comprenant :

- une première turbine de détente de gaz, une première chambre de combustion et un compresseur d'air, la turbine de détente à gaz étant alimentée par les gaz de combustion

de la chambre de combustion et entraînant le compresseur, le compresseur alimentant en air la première chambre de combustion,

-un circuit fermé comprenant un fluide caloporteur destiné à circuler entre une pompe de ce fluide, un évaporateur de ce fluide, une première turbine de détente du fluide à l'état de vapeur, un condenseur de ce fluide,

et comprenant de plus une seconde chambre de combustion alimentée par les gaz issus de la détente dans la première turbine de détente de gaz, une seconde turbine de détente à gaz alimentée par les gaz de combustion de la seconde chambre de combustion, les gaz de combustion détendus dans seconde turbine de détente à gaz alimentant l'évaporateur pour évaporer le fluide caloporteur par échange thermique avec les gaz de combustion issus de la seconde turbine de détente de gaz.

L'effet technique est de permettre d'obtenir un rendement global et une puissance spécifique nette, améliorés sans avoir besoin des températures de combustion élevées, ce qui permet d'éviter d'employer des matériaux spécifiques et de limiter la taille de la machine respectivement.

Diverses caractéristiques supplémentaires peuvent être prévues, seules ou en combinaisons :

Selon une variante, la première turbine de détente de gaz, la seconde turbine de détente de gaz et le compresseur sont liées en rotation.

Selon une variante, le circuit fermé de fluide comprend un réchauffeur alimenté par les gaz issus de la première turbine de détente du fluide caloporteur, une seconde turbine de détente du fluide caloporteur alimentée par le fluide caloporteur réchauffé dans le réchauffeur, le fluide caloporteur issu de la seconde turbine de détente alimentant ensuite le condenseur et en ce que les gaz de combustion détendus dans seconde turbine de détente à gaz alimente d'abord le réchauffeur, puis l'évaporateur.

Selon une variante, la première turbine de détente du fluide et la seconde turbine de détente de fluide sont liées en rotation.

Selon une variante, le circuit fermé comprend un récupérateur de chaleur agencé pour refroidir le fluide caloporteur issu de la seconde turbine de détente, le fluide refroidi étant ensuite envoyé au condenseur, le refroidissement étant effectué dans le récupérateur de chaleur par le fluide caloporteur issu de la pompe avant son envoi dans l'évaporateur.

Selon une variante, le fluide caloporteur du circuit fermé est de l'eau.

5 L'invention a aussi pour objet un véhicule automobile, caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble selon l'une quelconque des variantes précédemment décrites avec un premier générateur d'électricité relié à une turbine de détente de gaz de combustion et un second générateur relié à une turbine de détente de fluide caloporteur.

10 Selon une variante, les générateurs électriques sont reliés à un réseau électrique comprenant une batterie et un moteur électrique pour le déplacement de ce véhicule.

15 L'invention a aussi pour objet un procédé de fonctionnement d'un ensemble ou d'un véhicule selon l'une quelconque des variantes précédemment décrites, caractérisé en ce que l'on réalise dans la première chambre de combustion une combustion avec un excès d'air relativement à une combustion stœchiométrique.

Selon une variante, l'excès d'air est compris entre 3 et 6.

20 D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'un mode particulier de réalisation, non limitatif de l'invention, faite en référence aux figures dans lesquelles :

- La figure 1 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation de l'invention.
- 25 - La figure 2 est une représentation schématique d'un second mode de réalisation de l'invention.
- La figure 3 est une représentation schématique d'un troisième mode de réalisation de l'invention.
- La figure 4 est une représentation schématique d'un véhicule automobile comprenant un
- 30 des modes de réalisation de l'invention.

La figure 1 présente un premier mode de réalisation de l'invention. Ce premier mode de réalisation illustre un ensemble qui combine une turbine à gaz et un cycle de type Rankine.

35 Cet ensemble comprend donc une première turbine, T1. Cette turbine T1 de détente de gaz est alimentée par les gaz de combustion produits dans une première chambre de combustion, CC1. Cette turbine T1 est également reliée à un compresseur C1 d'air qu'elle

entraîne en rotation. Le compresseur d'air C1 alimente la chambre de combustion CC1 en air sous pression. Cet air sous pression est brûlé avec un carburant injecté dans la chambre de combustion C1 pour produire les gaz de combustion qui sont envoyés dans la turbine T1.

5

Dans ce mode de réalisation, les gaz de combustion ayant été détendus dans la première turbine T1, sont introduits, de préférence directement, dans une seconde chambre de combustion CC2 pour brûler avec du carburant injecté dans la seconde chambre de combustion CC2.

10

Afin de limiter la température dans la première combustion, pour des raisons de tenue thermique des matériaux) on réalise une combustion avec un très grand excès d'air comparativement à une combustion stœchiométrique. Cet excès d'air λ est compris entre 3 et 6, avec pour définition de l'excès d'air λ :

15

$$\lambda = \frac{\left(\frac{Nb_{moles_air}}{Nb_{moles_carb}} \right)_{réel}}{\left(\frac{Nb_{moles_air}}{Nb_{moles_carb}} \right)_{stoechio}}$$

Où Nb_{moles_air} et Nb_{moles_carb} sont respectivement un nombre de moles d'air et de carburant et les indices « réel » et « stoechio » indique respectivement les conditions réelles et stœchiométriques.

20

En fait, une combustion stœchiométrique, permet d'atteindre une température maximale de l'ordre de 2300°C par exemple dans le cas de l'essence. Dans les produits d'une combustion stœchiométrique, on ne retrouve pas d'oxygène parce qu'il est totalement consommé. De plus, cet excès d'air permet d'avoir de l'oxygène en excès dans les gaz de combustion issus de la première chambre de combustion CC1, ce qui permet de les réutiliser dans la seconde chambre de combustion CC2. De plus le fait d'injecter des gaz de combustion avec un excès d'air permet de limiter la production de oxydes d'azote, selon le même principe qu'un dispositif de recirculation de gaz brûlés dans un moteur à combustion interne.

25

30

Les gaz de combustion issus de la seconde chambre de combustion CC2 sont envoyés directement dans une seconde turbine à gaz, T2, pour y être détendus.

Dans ce mode de réalisation, le cycle à vapeur comprend un circuit fermé comprenant un fluide caloporteur. Ce fluide caloporteur circule dans ce circuit entre

- une pompe, WP, de ce fluide,
- un échangeur thermique destiné à évaporer le fluide caloporteur, autrement dit un évaporateur, SE,
- une turbine de détente du fluide, ST1, à l'état de vapeur,
- un échangeur thermique destiné à condenser le fluide, autrement dit un condenseur, SC.

Dans ce premier mode de réalisation, les gaz de combustion détendus dans la seconde turbine de détente à gaz, T2, alimente directement l'évaporateur, SE, pour évaporer le fluide caloporteur par échanges thermiques avec les gaz de combustion issus de la seconde turbine de détente de gaz, T2.

Avantageusement, la première turbine de détente de gaz, T1, la seconde turbine de détente de gaz T2 et le compresseur C1 sont liés en rotation sur un même axe de rotation, ce qui permet de simplifier le montage.

Pour une puissance nette donnée on réduit les NOx, car une partie de la puissance nette en kW est produite dans la seconde turbine T où la seconde chambre de combustion CC2 va générer moins de NOx. Cette seconde combustion et seconde détente permet d'obtenir plus de puissance nette par cycle thermodynamique.

La figure 2 présente un second mode de réalisation de l'invention. Dans ce second mode de réalisation, le fluide détendu dans la turbine de détente du fluide, ST1, n'alimente plus directement le condenseur SC. De même dans ce second mode de réalisation, les gaz de combustion issus de la détente dans la seconde turbine de détente de gaz, T2, n'alimente plus directement l'évaporateur SE.

Dans ce second mode de réalisation, le circuit fermé comprenant le fluide caloporteur comprend de plus un réchauffeur du fluide caloporteur, R, alimenté par le fluide caloporteur issu de la détente dans la turbine de détente du fluide, ST1, et une seconde turbine de détente du fluide, ST2, alimentée par le fluide caloporteur réchauffé dans le réchauffeur R. Le fluide caloporteur issu de la détente dans seconde turbine de détente du fluide, ST2, alimente ensuite directement le condenseur SC.

Une telle réchauffe par le réchauffeur R permet d'augmenter le rendement du cycle thermodynamique et sa densité de puissance

Dans ce second mode de réalisation, les gaz de combustion issus de la détente dans la seconde turbine de détente de gaz, T2, alimente d'abord directement le réchauffeur R, pour réchauffer le fluide caloporteur. Les gaz de combustion sortant du réchauffeur R sont ensuite acheminés directement à l'évaporateur SE.

Avantageusement, la première turbine de détente du fluide (ST1) et la seconde turbine de détente de fluide (ST2) sont liées en rotation sur un même axe de rotation, ce qui permet de simplifier le montage. En variante, la première turbine de détente du fluide (ST1) et la seconde turbine de détente de fluide (ST2) forme une turbine commune, avec plusieurs étages dans laquelle on vient prélever le fluide caloporteur au niveau d'un étage, puis on le réchauffe avant de l'injecter de nouveau dans un étage suivant.

La figure 3 présente un troisième mode de réalisation de l'invention. Dans de troisième mode de réalisation, on ajoute un récupérateur de chaleur IR en sortie de la seconde turbine de détente de fluide ST2, avant le condenseur SC. Cela permet de réduire la charge thermique au niveau du condenseur SC ce qui permet de réduire donc sa taille. Cela est bénéfique dans des applications automobiles pour réduire la surface frontale du véhicule et baisser la résistance aérodynamique.

Dans ce mode de réalisation, le récupérateur de chaleur IR est un échangeur thermique. Le fluide caloporteur issu de la détente dans seconde turbine de détente du fluide, ST2, alimente le récupérateur de chaleur IR pour y être refroidi puis ce fluide caloporteur refroidi est envoyé au condenseur SC. Le refroidissement est assuré par le fluide caloporteur issu de la pompe WP et alimentant le récupérateur de chaleur IR, avant d'alimenter l'évaporateur SE. Autrement dit, le fluide caloporteur issu de la pompe WP entre dans le récupérateur de chaleur IR pour refroidir le fluide caloporteur issu de la détente dans seconde turbine de détente du fluide, ST2, et quitte le récupérateur de chaleur IR pour entrer dans l'évaporateur SE.

L'invention proposée permet d'augmenter significativement le rendement et la densité de puissance, ce qui permet de réduire les émissions de polluants et la consommation.

De préférence, pour des raisons d'économie et non toxicité, le fluide caloporteur dans le circuit fermé est de l'eau. On peut utiliser l'éthanol, le méthanol ou autre type de fluide organique comme dans le cas des boucles Rankine Organiques, mais l'eau reste le meilleur fluide pour les raisons de sécurité, prix, rendement...

5

Des simulations numériques ont permis de mettre en évidence un gain de rendement de l'ordre de 7 points une amélioration de la densité de puissance comprise entre 1.5 à 2 fois plus comparé à un cycle combiné turbine à gaz – Rankine simple.

10 L'avantage de cette nouvelle architecture thermodynamique de cycle combiné permet d'améliorer le rendement et peut être utilisé pour produire de l'électricité dans un véhicule automobile.

15 La figure 4 présente un véhicule automobile comprenant dans le cadre en pointillé un des modes de réalisation de cette nouvelle architecture thermodynamique de cycle combiné précédemment décrit.

Un premier générateur d'électricité G1 est lié en rotation avec une turbine à gaz T1, T2, tandis qu'un second générateur d'électricité est lié en rotation avec une turbine de détente de fluide ST1, ST2.

20

Chaque générateur G1, G1 est relié à un réseau électrique comprenant un batterie B et un moteur électrique MEL. Des convertisseurs électriques AC/DC peuvent être prévus pour les gestion des flux électriques dans le réseau électrique. Ainsi, les générateurs G1, G2 peuvent recharger la batterie B ou alimenter le moteur électrique MEL. Le moteur électrique MEL est utilisé pour le déplacement du véhicule.

25

L'avantage d'utiliser une turbine à gaz est qu'elle est compatible avec de nouveaux vecteurs d'énergie tels que des nouveaux carburants issus de la biomasse, des carburants gazeux, des carburant solides type aluminium, magnésium, fer, poudre... qui ne peuvent pas être utilisés dans les moteurs à combustion interne classiques.

30

REVENDEICATIONS

1. Véhicule automobile comportant un ensemble comprenant :

-une première turbine de détente de gaz (T1), une première chambre de combustion (CC1) et un compresseur d'air (C1), la turbine de détente à gaz (T1) étant alimentée par les gaz de combustion de la chambre de combustion (CC1) et entraînant le compresseur (C1), le compresseur (C1) alimentant en air la première chambre de combustion (CC1),

-un circuit fermé comprenant un fluide caloporteur destiné à circuler entre une pompe (WP) de ce fluide, un évaporateur (SE) de ce fluide, une première turbine (ST1) de détente du fluide à l'état de vapeur, un condenseur (SC) de ce fluide,

caractérisé en ce qu'il comprend une seconde chambre de combustion (CC2) alimentée par les gaz issus de la détente dans la première turbine de détente de gaz (T1), une seconde turbine de détente à gaz (T2) alimentée par les gaz de combustion de la seconde chambre de combustion (CC2), les gaz de combustion détendus dans seconde turbine de détente à gaz (T2) alimentant l'évaporateur (SE) pour évaporer le fluide caloporteur par échange thermique avec les gaz de combustion issus de la seconde turbine de détente de gaz (T2),

- un premier générateur d'électricité (G1) relié à une turbine de détente de gaz de combustion et un second générateur (G2) relié à une turbine de détente de fluide caloporteur.

2. Véhicule automobile selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première turbine de détente de gaz (T1), la seconde turbine de détente de gaz (T2) et le compresseur (C1) sont liées en rotation.

3. Véhicule automobile selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que le circuit fermé de fluide comprend un réchauffeur (R) alimenté par les gaz issus de la première turbine de détente (ST1) du fluide caloporteur, une seconde turbine de détente (ST2) du fluide caloporteur alimentée par le fluide caloporteur réchauffé dans le réchauffeur (R), le fluide caloporteur issu de la seconde turbine de détente (ST2) alimentant ensuite le condenseur (SC) et en ce que les gaz de combustion détendus dans seconde turbine de détente à gaz (T2) alimente d'abord le réchauffeur (R), puis l'évaporateur (SE).

4. Véhicule automobile selon la revendication 3, caractérisé en ce que la première turbine de détente du fluide (ST1) et la seconde turbine de détente de fluide (ST2) sont liées en rotation.

5 5. Véhicule automobile selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisé en ce que le circuit fermé comprend un récupérateur de chaleur (IR) agencé pour refroidir le fluide caloporteur issu de la seconde turbine de détente (ST2), le fluide refroidi étant ensuite envoyé au condenseur (SC), le refroidissement étant effectué dans le récupérateur de chaleur (IR) par le fluide caloporteur issu de la pompe (WP) avant son envoi dans l'évaporateur (SE).

10 6. Véhicule automobile selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le fluide caloporteur du circuit fermé est de l'eau.

7. Véhicule automobile selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les générateurs électriques (G1, G2) sont reliés à un réseau électrique comprenant une batterie (B) et un moteur électrique (MEL) pour le déplacement de ce véhicule.

15 8. Procédé de fonctionnement d'un véhicule selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'on réalise dans la première chambre de combustion (CC1) une combustion avec un excès d'air relativement à une combustion stœchiométrique.

9. Procédé de fonctionnement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'excès d'air est compris entre 3 et 6.

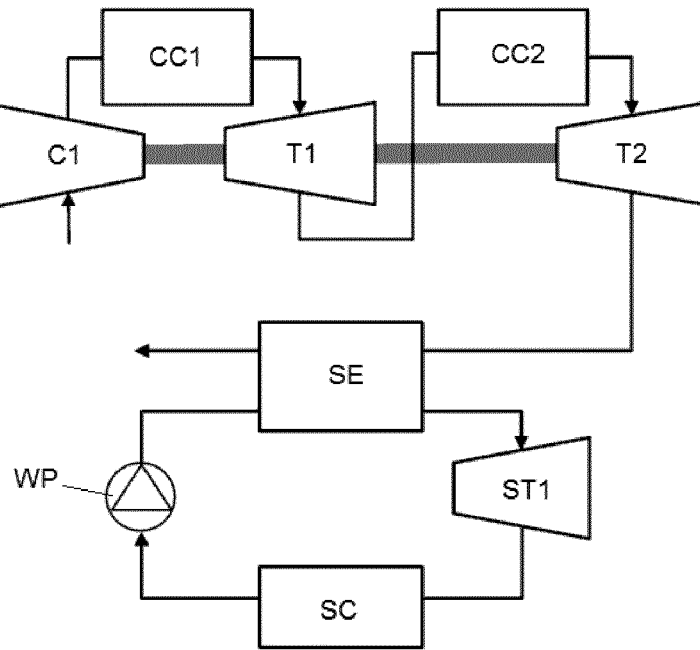


Figure 1

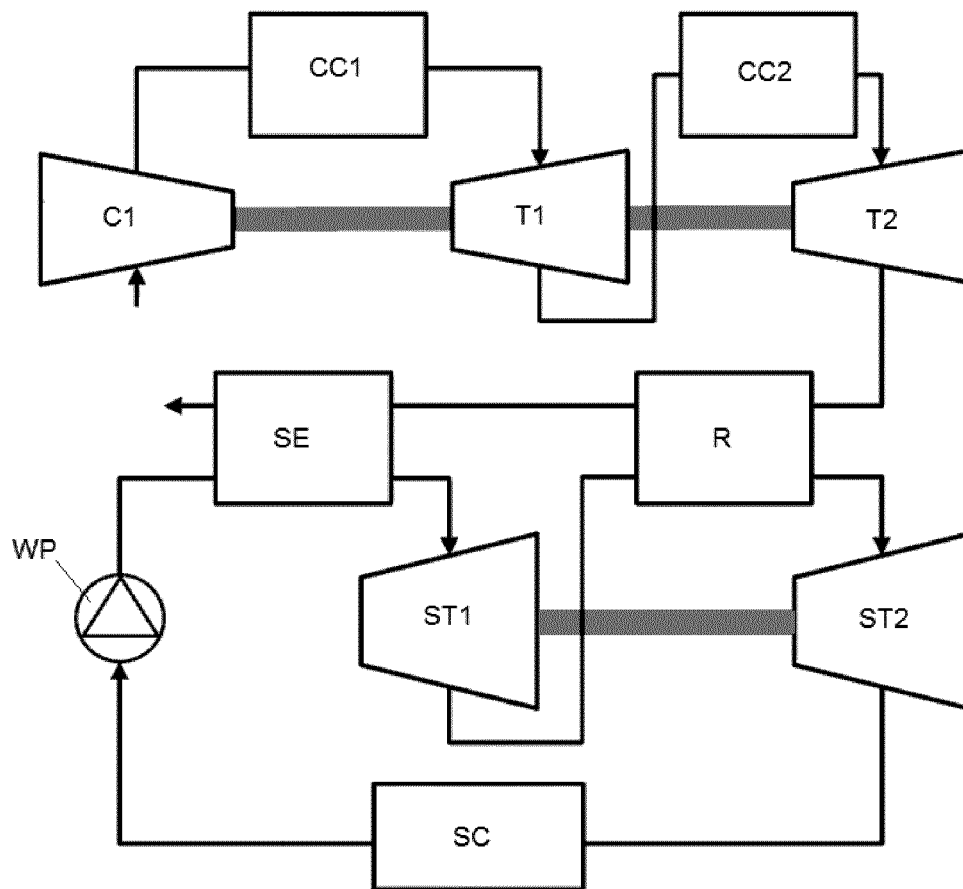


Figure 2

2/2

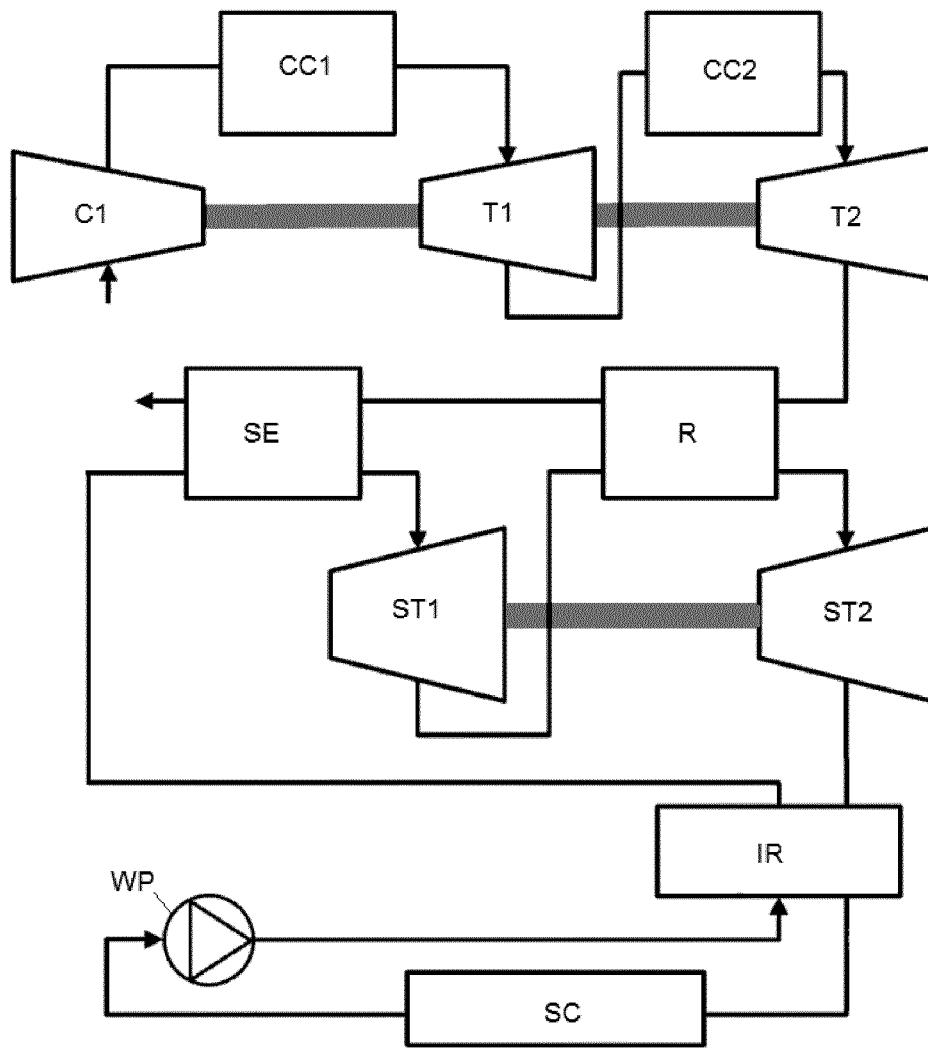


Figure 3

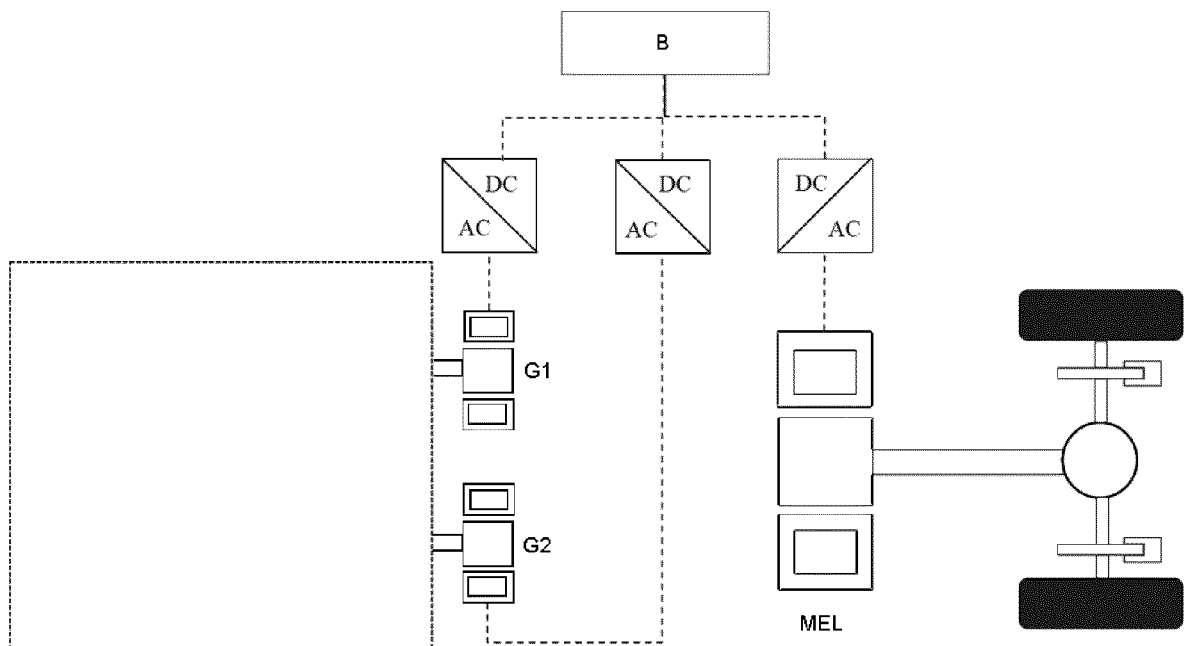


Figure 4

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

DE 10 2014 003283 A1 (LÖYTTY ARI [FI])
11 septembre 2014 (2014-09-11)

EP 0 234 363 A1 (SULZER AG [CH])
2 septembre 1987 (1987-09-02)

FR 2 424 412 A1 (SULZER AG [CH])
23 novembre 1979 (1979-11-23)

FR 1 151 658 A (M. ERIK FOIT)
4 février 1958 (1958-02-04)

US 2015/192039 A1 (SHARP JAMES H [US] ET
AL) 9 juillet 2015 (2015-07-09)

DE 11 2016 003348 T5 (MITSUBISHI HITACHI
POWER SYS [JP]) 5 avril 2018 (2018-04-05)

DE 10 2014 202275 A1 (SIEMENS AG [DE])
27 août 2015 (2015-08-27)

EP 1 016 775 A2 (ORMAT IND LTD [IL])
5 juillet 2000 (2000-07-05)

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

NEANT

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

NEANT