ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE
---

(19)

المملكة المغربية

المكتب المغربي للملكية الصناعية و التجارية
---

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication :
MA 34510 B1

(43) Date de publication :
02.09.2013

(51) Cl. internationale :
F02C 1/05; F03G 6/06; F03G 6/00; F24J 2/28; F24J 2/07

(21) N° Dépôt :
35710

(22) Date de Dépôt :
06.03.2013

(30) Données de Priorité :
06.08.2010 DE 10 2010 036 900.4

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/EP2011/063532 05.08.2011

(71) Demandeur(s) :
ALSTOM TECHNOLOGY LTD, Brown Boveri Strasse 7 CH-5400 Baden (CH)

(72) Inventeur(s) :
WIEGHARDT, Kai

(74) Mandataire :
SABA & CO

(54) Titre : **TOUR SOLAIRE AYANT UNE TURBINE À GAZ INTÉGRÉE**

(57) Abrégé : La présente invention se rapporte à une tour solaire (1) qui comprend un récepteur du rayonnement solaire (4) et un moteur de turbine à gaz (2). Le moteur de turbine à gaz (2) est agencé verticalement dans la tour et comprend en série dans le sens de l'écoulement descendant : un compresseur (3) pour comprimer l'air ambiant (15) attiré à travers au moins un orifice d'admission d'air au niveau d'une extrémité supérieure de la tour; un dispositif de chauffage (4) pour chauffer l'air comprimé provenant du compresseur, le récepteur de rayonnement solaire comprenant au moins une partie du dispositif de chauffage; et une turbine (5) pour extraire le travail de l'air comprimé chauffé. Le moteur de turbine à gaz (2) est formé d'un seul tenant avec la tour solaire (1) et le dispositif de chauffage au gaz du moteur de turbine à gaz (2) est formé d'un seul tenant avec le récepteur de rayonnement solaire (4).

الملخص

برج شمسي (1) يتضمن مستقبل إشعاع شمسي (4) ومحرك عنفة غاز (2). ويتم تنسيق محرك عنفة الغاز (2) بشكل عمودي ضمن البرج، ويتضمن في سلسلة تدفق نحو الأسفل:

- ضاغط (3) لضغط هواء مكتنف (15) مسحوب عبر مدخل هوائي واحد على الأقل عند نهاية علوية للبرج،
- تنسيق تسخين (4) لتسخين الهواء المضغوط من الضاغط، يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي جزءاً على الأقل من تنسيق التسخين، و
- عنفة (5) لاستخلاص العمل من الهواء المضغوط المسخن.

ويتم تشكيل محرك عنفة الغاز (2) بشكل تكاملي مع البرج الشمسي (1)، ويتم تشكيل تنسيق تسخين الغاز لمحرك عنفة الغاز (2) بشكل تكاملي مع مستقبل الإشعاع الشمسي (4).

(الشكل 1)

الحقل التقني

يتعلق الكشف الحالي بطاقة شمسية مركزة، وعلى وجه الخصوص بتركيبة مفيدة لبرج طاقة شمسية بمحرك عنفة غاز لتوليد الكهرباء.

خلفية تقنية

تنطوي الطاقة الشمسية المركزة على استخدام عدسات، مرايا، أو جهاز بصري آخر لتركيز الإشعاع الشمسي من منطقة إسقاط كبيرة على منطقة صغيرة. وعندئذ يتم استخدام القدرة من الإشعاع الشمسي لتوليد الطاقة. ويتوقع أن تصبح الطاقة الشمسية المركزة مصدر قدرة هام في المستقبل.

لقد كان هناك العديد من المقترحات لتقنية الطاقة الشمسية المركزة. وإن التقنية التي اعتقد أن لها الإمكانية العظمى لتوفير توليد طاقة ذات فعالية عالية هي تقنية المستقبل المركزي. وتنطوي هذه التقنية على استخدام برج طاقة شمسية مركزي لاستقبال الإشعاع الشمسي المنعكس ليكون ساقطاً فوقه بواسطة نسق من عاكسات تتبع تقع في حقل شمسي حول البرج.

ومن المعروف استخدام الإشعاع الشمسي الساقط على برج شمسي لتسخين الماء مباشرة لتوليد بخار من أجل عنفة بخارية باستخدام دورة رانكين. ويتم توليد الكهرباء من أجل شبكة المرافق باستخدام العنفة البخارية لإدارة مولدة، التي يتم وصلها بشبكة الكهرباء عبر تركيبة مقوّم/عاكس ملائمة. ويمكن تحويل بعض من البخار الحار من العنفة وتخزينه لمدة محددة في خزانات معزولة لإكمال إنتاج طاقة أثناء فترات قصير من إشعاع شمسي منخفض.

تستخدم بعض مشاريع الطاقة الشمسية الأخرى الإشعاع الشمسي الساقط على برج شمسي لتسخين ملح منصهر بشكل مباشر، الذي يتم إمراره عبر مبادل حراري لتسخين الماء لتوليد بخار من أجل عنفة بخارية، إلخ. ويستخدم الملح المنصهر أيضاً كمستودع تخزين حرارة بحيث أنه أثناء فترات إشعاع شمسي منخفض أو صفر، فإنه لايزال يمكن استخدام الملح المنصهر لرفع البخار وإنتاج الكهرباء كما هو مطلوب للتغذية إلى داخل شبكة المرافق. انظر على سبيل المثال براءتنا السابقة GB2449181B.

عند تسخين إما الماء أو الملح المنصهر بشكل مباشر بواسطة الإشعاع الشمسي، فإنه يتم نقل القدرة من الإشعاع الشمسي إلى السائل باستخدام مستقبل سطحي مركب على البرج الشمسي. وفي المستقبلات السطحية، يتم نقل الحرارة إلى السائل عبر جدار أنبوب مضغوط. وكنتيجة لذلك، فإن للمستقبلات السطحية الحدود التقنية نفسها كالمراجل. وهذا يحدّ من درجة الحرارة التي يمكن تسخين السائل إليها إلى 750 درجة مئوية تقريباً، وتبعاً لذلك يحد من الفعالية القصوى للبرج الشمسي.

ومن أجل التغلب على مشكلات الفعالية المتأصلة بالأبراج الشمسية المستخدمة مستقبلات سطحية، فقد تم اقتراح الأبراج الشمسية المستخدمة لمستقبلات حجمية لتسخين الغاز. ويتم تشكيل

المستقبلات الحجمية بحيث أنه يتم نقل القدرة الشمسية الساقطة على البرج الشمسي إلى خزف (سيراميك) مسامي شبكي، الذي يمكن تسخينه حتى درجات الحرارة 1500 درجة مئوية. ومن ثم يتم تسخين الغاز بتمريره عبر السيراميك المسامي الحار. وعندئذ يمكن استخدام الغاز المسخن لتسخين الماء وبذلك توليد الطاقة باستخدام عنفة بخارية تعمل وفقاً لدورة رانكين و/أو لتوليد طاقة باستخدام عنفة غاز تعمل وفقاً دورة برايتون.

ويمكن أن تكون المستقبلات الحجمية مفتوحة، حيث يتم تركيز الإشعاع الشمسي بشكل مباشر فوق السيراميك المسامي، ويتم سحب الغاز إلى داخل البرج الشمسي وعبر السيراميك المسامي مباشرة من الجو المكتنف المحيط. وبشكل بديل، فإنه يمكن سد المستقبلات الحجمية عن الجو المكتنف وتضغط. وفي المستقبلات الحجمية المسدودة، يتم وضع السيراميك المسامي ضمن حجم مسدود، ويتم نقل القدرة من الإشعاع الشمسي إلى السيراميك المسامي عبر نافذة أو جدار يسد الحجم المسدود عن البيئة المحيطة. وهذا يسمح بالمحافظة على الضغط ضمن المستقبل.

إن مستقبلين حجميين مسدودين مقترحين حالياً هما مستقبلا نافذة ومستقبلا تجويف. في مستقبلي النافذة، يتم سد المستقبل بنافذة لدنة شفافة بشكل كبير للإشعاع الشمسي. تسد النافذة اللدنة المستقبل الحجمي وبذلك يسمح بالمحافظة على الضغط ضمن المستقبل. ولا تمتص النافذة كميات هامة من القدرة من الإشعاع الشمسي الساقط عليها. وبدلاً من ذلك، يمر الإشعاع الشمسي عبر النافذة ويتم امتصاص القدرة بواسطة السيراميك المسامي داخل المستقبل. وتشتمل مواد النافذة المقترحة على زجاج كوارتز. وعموماً، فإنه يتم تشكيل النوافذ من أجل مستقبلات النافذة للتأكد من أنها تصمد أمام الضغوط التي توضع تحتها بسبب اختلاف درجات الحرارة عبر النافذة عندما يكون مستقبل النافذة قيد الاستخدام.

في مستقبلات التجويف، يتم سد المستقبل بواسطة جدار صلب يمكن أن يمتص الإشعاع الشمسي الساقط عليه. يسد الجدار المستقبل الحجمي وبذلك يسمح بالحفاظ على الضغط ضمن المستقبل. وعلى النقيض من أجهزة النافذة، فإن الجدار ليس شفافاً للإشعاع الشمسي ويمتص القدرة من الإشعاع. ويتم تحويل القدرة إلى حرارة ضمن الجدار ومن ثم يتم تسييرها إلى داخل السيراميك المسامي الذي يتم وضعه ضمن المستقبل على اتصال مع الجدار. وتشتمل مواد الجدار المقترحة على كربيد سيليكون. وعادةً ما يحدد الجدار لمستقبل تجويف تجويفاً يمتد إلى داخل المستقبل الحجمي. وهذا يسمح لمنطقة سطح الجدار الذي على اتصال مع السيراميك المسامي، وبالتالي تحول الحرارة من الجدار إلى السيراميك المسامي، سيتم تكبيره إلى الحد الأقصى.

كما في براءتنا السابقة GB2 449 181B وأيضاً في براءتنا السابقة DE2 939 416C2، فقد تم أيضاً اقتراح استخدام عنفات غاز جنباً إلى جنب مع أبراج طاقة شمسية. ويتم استخدام الإشعاع الشمسي بشكل مباشر أو غير مباشر لتسخين غاز، الذي يتم إمراره عندئذ عبر العنفة. ولزيادة الفعالية الديناميكية الحرارية، فإنه قد يتم أيضاً استخدام بعض من الحرارة من برج الطاقة لتوليد بخار من أجل عنفة بخارية، على سبيل المثال، بواسطة استرداد الحرارة من عادم عنفة الغاز بأسلوب تركيب دورة مركبة. ويمكن عندئذ لطاقة العمود من كلٍ من عنفات الغاز والبخار إدارة واحد أو أكثر من المولدات من أجل إنتاج الكهرباء.

إن الأبراج الشمسية التي تتضمن مستقبلات حجمية لتسخين الغاز والتي تولد طاقة باستخدام عنفة غاز تعمل وفقاً لدورة برايتون، تقدم حالياً تحدياً على وجه الخصوص في تحقيق فعالية ديناميكية حرارية. وهذا بسبب أنه ينبغي نقل الغاز المسخن في المستقبل الشمسي الحجمي بطريقة اقتصادية وبلا خسارة من المستقبل إلى عنفة غاز على مسافة من المستقبل. ويتم تركيز البحث الحالي على التغلب على هذه المشكلة على استخدام مواد السيراميك من أجل أنابيب الغاز ومبادلات الحرارة من أجل تقليل فقدان الحرارة إلى الحد الأدنى.

وفي ضوء ما ذكر أعلاه، فإن هناك حاجة لتصميم برج شمسي جديد يستخدم مستقبلاً حجمياً لتسخين الغاز لتشغيل عنفة غاز ولكن التي تقلل فقدان القدرة إلى الحد الأدنى.

خلاصة الكشف

يتضمن برج شمسي مستقبل إشعاع شمسي ومحرك عنفة غاز، ومحرك عنفة الغاز منسق بشكل عمودي ضمن البرج ويتضمن في سلسلة تدفق:

- ضاغط لضغط الهواء المكتنف المسحوب عبر مدخل هوائي واحد على الأقل في نهاية علوية للبرج،
- تنسيق تسخين لتسخين الهواء المضغوط من الضاغط، يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي جزءاً على الأقل من تنسيق التسخين، و
- عنفة لاستخلاص العمل من الهواء المضغوط المسخن.

في هذا التنسيق، يتم تشكيل محرك عنفة الغاز بشكل متكامل مع البرج الشمسي، ويتم تشكيل تنسيق تسخين الغاز لمحرك عنفة الغاز بشكل متكامل مع مستقبل الإشعاع الشمسي.

إن البرج الشمسي الموصوف مفيد أكثر من التقنية السابقة حيث أنه يسمح بالتركيب الأكثر اندماجاً لمحرك عنفة الغاز ومستقبل الطاقة الشمسية في البرج ويقلل إلى الحد الأدنى فقدان الطاقة الناتج عن نقل الحرارة من وسيلة مستقبل الطاقة الشمسية إلى عنفة الغاز. ويفعل ذلك بضم مستقبل الطاقة الشمسية مع تنسيق تسخين الغاز لعنفة الغاز، وبذلك إزالة الحاجة لنقل الحرارة من مستقبل الطاقة الشمسية إلى عنفة غاز منفصلة عن مستقبل الطاقة. أي، تستخدم الحرارة المتولدة بواسطة الإشعاع الشمسي الساقط على البرج الشمسي مباشرة في الموقع حيث يتم إحداثها، أي، مستقبل الطاقة الشمسية للبرج الشمسي.

ويسمح التنسيق العمودي لعنفة الغاز أيضاً بأن يكون تنسيق تسخين الغاز الخاص بها ومستقبل الطاقة الشمسية التكاملي الخاص بها بالتناظر محيطياً حول البرج الشمسي، وبذلك السماح للمقدار الأقصى من الإشعاع الشمسي أن يستخدم لتسخين الهواء المضغوط وهو يتدفق المسافة القصيرة من مخرج الضاغط إلى مدخل العنفة.

كما سيكون موضع تقدير بسهولة، فمن أجل تشغيل محرك عنفة غاز، فإنه من الضروري لتنسيق تسخين غاز موضوع بين ضاغط وعنفة أن يتم سده عن البيئة المحيطة بحيث أنه يتم سحب الغاز الداخل لتنسيق التسخين نحو الداخل فقط من الضاغط ويخرج الغاز المغادر تنسيق التسخين فقط عبر العنفة. وبالتالي، فإنه من الضروري من أجل جزء مستقبل

الطاقة الشمسية الذي يحول الحرارة إلى الهواء المضغوط أن يتم سده عن البيئة المحيطة. ومن هنا، يكون مستقبل الطاقة الشمسية بشكل مفضل من النوع الحجمي المسدود، الذي يتم فيه سد حجم سيراميك مسامي شبكي أو مادة ماص حراري ملائمة عن البيئة بواسطة جدار صلب لامتصاص الحرارة ونقل المادة، مثل كربيد سيليكون أو كوارتز.

وقد يتضمن مستقبل الطاقة الشمسية واحداً أو أكثر من مستقبلات التجويف. وبشكل بديل، قد يتضمن مستقبل الطاقة الشمسية واحداً أو أكثر من مستقبلات النافذة.

وفي تجسيد مفضل، يتضمن مستقبل الطاقة الشمسية مستقبل شمسي متناظر محيطياً. أي، يكون مستقبل الطاقة الشمسية متناظراً محيطياً حول البرج الشمسي، وبذلك السماح للإشعاع الشمسي بالدخول إلى مستقبل الطاقة الشمسية بشكل كبير حول محطيه بشكل متساو. ويمكن تشكيل مستقبلاً شمسياً متناظراً محيطياً من واحد أو أكثر من مستقبلات النافذة أو واحد أو أكثر من مستقبلات التجويف أو أي وسائل ملائمة أخرى لاستقبال الإشعاع الشمسي.

وبشكل ملائم، يتم تشكيل محرك عنفة الغاز بحيث أن الضاغط أو أي مدخل هواء مصاحب يكون فعلياً عند النهاية العلوية للبرج. وبالتالي فإنه قد يكون من المفضل أن يتضمن البرج الشمسي أيضاً سقفاً واقياً موضوعاً مباشرة فوق النهاية العلوية للبرج. وقد يتم تشكيل سقف واقي ملائم بحيث لا يزال بالإمكان للهواء بدخول الضاغط عبر مدخل هوائي ولكن سيمنع المطر أو الأنقاض من الانجرار إلى الضاغط وبالتالي الإضرار بمحرك عنفة الغاز.

ويشتمل البرج الشمسي الموصوف أعلاه بشكل مفضل على مولد كهربائي مدار بواسطة محرك عنفة الغاز، والمولد مركب ضمن البرج الشمسي. وقد تتم مباشرة إدارة المولد بواسطة محرك عنفة الغاز. وبشكل بديل، قد تتم إدارة المولد بشكل غير مباشر بواسطة عنفة الغاز من خلال ترس.

ومن أجل السماح للهواء بمغادرة البرج الشمسي بعد المرور عبر محرك عنفة الغاز، إلخ، فإنه قد يتم توفير عادم هواء واحد على الأقل. ويمكن توفير عادم الهواء في أي موقع ملائم، على سبيل المثال، في أو قرب قاعدة البرج الشمسي.

وقد يتضمن البرج الشمسي أيضاً مبادلاً حرارياً واحداً على الأقل منسقاً لاستخلاص الحرارة من غاز العادم لمحرك عنفة الغاز. وقد تستخدم الحرارة المستخلصة من الغاز لأي غرض مناسب واضح لشخص ماهر في التقنية. فعلى سبيل المثال، قد تستخدم الحرارة المستخلصة من الغاز من أجل توليد البخار باستخدام تقنية دورة-مركبة معروفة ومواد. وهكذا، قد يتم استخدام المبادل (المبادلات) الحراري لرفع البخار لتشغيل عنفة بخارية واحدة على الأقل تعمل وفقاً لدورة رانكين، وتستخدم العنفة (العنفات) البخارية لإدارة مولد بشكل مباشر أو غير مباشر، الذي قد يكون مولداً مختلفاً عن ذاك المدار بواسطة محرك عنفة الغاز.

ومن أجل تحقيق الاستخدام الأفضل لغازات العادم لمحرك عنفة الغاز الذي يتم تشكيله بشكل تكاملي مع البرج الشمسي، فإنه قد يتم استخدام مثل غازات العادم هذه لتشغيل عنفة غاز إضافية واحدة على الأقل، التي يمكن أن تدير مولداً بشكل مباشر أو غير مباشر. وقد تكون عنفة (عنفات) الغاز الإضافية موضوعة بعد المبادل (المبادلات) الحراري.

وقد يتم توفير وسيلة تخزين حرارة من أجل تخزين الحرارة المستخلصة من غازات عادم محرك عنفة الغاز. وقد تتضمن وسيلة تخزين الحرارة أية وسيلة تخزين حرارة معروفة لشخص ماهر في الفن، على سبيل المثال خزانات تخزين معزولة لتخزين ملح منصهر حار أو سوائل أخرى مسخنة بواسطة مبادل حراري مع عادم عنفة الغاز. وقد يسمح توفير وسائل تخزين قدرة ملائمة للبرج الشمسي بالاستمرار لتوليد الطاقة أثناء الفترات التي يكون فيها الإشعاع الشمسي الساقط على البرج من كثافة أخفض، على سبيل المثال عندما يكون هناك غطاء غيمي كبير.

وقد يكون من المفيد إذا كان محرك عنفة الغاز قادراً على الإشعال الإضافي. مما قد يسمح لمحرك عنفة الغاز وأي مولد مرافق بالعمل عندما يكون هناك إشعاع شمسي غير كافٍ ساقط على وسيلة استقبال الطاقة الشمسية من أجل تشغيل محرك عنفة الغاز بفعالية. وهذا قد يحدث عندما يكون هناك غطاء غيمي كبير أو في الليل. ومن أجل القدرة على الإشعال الإضافي، فإنه يمكن لمحرك عنفة الغاز أن يتضمن بشكل إضافي حجرة احتراق موجودة إما على التيار الهابط لمستقبل الإشعاع الشمسي، أو على التوازي معه، بحيث أن غازات الاحتراق من حجرة الاحتراق لا تمر عبر أو من ناحية أخرى تؤثر على المستقبل الشمسي. وقد يتم تشكيل حجرة احتراق بأي أسلوب معروف لشخص ماهر في الفن.

وقد تكون عنفة الغاز صغيرة وخفيفة الوزن نسبياً. ومن المفضل أن يكون لعنفة الغاز قوة 20 ميغاواط أو أقل، وبالتالي قادرة على استخدام تقنية محمل دفعي من محركات طائرات. وعلى وجه الخصوص، قد تكون محامل عنفة الغاز توليفة معروفة من محامل دفعية كراتية وأسطواناتية، كما هو مستخدم حالياً في محركات الطائرات.

ومن المفضل أن يتم تشغيل عنفة الغاز بسرعة أعلى من توتر أية شبكة كهرباء مرافقة. وكنتيجة لذلك، فقط يتم استخدام تقنية مولد مقوّم (تيار) و/أو فعال معروفة للسماح لمولد مشغل بواسطة عنفة الغاز ليتم وصله بشبكة كهرباء مرافقة. على سبيل المثال، قد يتم وصل المولد إلى شبكة الكهرباء عبر توليفة مقوّم/عاكس ملائمة.

وستكون ميزات وفوائد إضافية لتنسيق البرج الشمسي الموصوف أعلاه واضحة من التجسيدات المعينة الموضحة في الرسوم والموصوفة أدناه.

وصف مختصر للرسوم

سيتم الآن وصف تجسيدات موضوع تنسيق البرج الشمسي، على سبيل المثال فقط، بالإشارة إلى الرسوم المرافقة، التي فيها:

الشكل 1 هو رسم تخطيطي لبرج شمسي وفقاً لتجسيد مفضل؛

الشكل 2 هو مقطع عرضي عبر وسيلة استقبال الطاقة الشمسية للبرج الشمسي للشكل 1؛ و

الشكل 3 هو منظر عن قرب للنهاية العلوية للبرج الشمسي للشكل 1.

وصف تفصيلي للتجسيدات المفضلة

يتم توضيح تجسيد مفضل لبرج شمسي 1 في الشكل 1. للبرج الشمسي 1 محرك عنفة غاز 2 مركبة بشكل متكامل وعمودي عند نهاية علوية للبرج. ويتضمن محرك عنفة الغاز 2 ضاغطاً 3 مركباً فوق مستقبل إشعاع شمسي حجمي مسدود 4، وعنفة 5، مركبة تحت المستقبل الحجمي. ويشكل المستقبل الحجمي 4 تنسيق تسخين الغاز لمحرك عنفة الغاز 2.

يتم وضع البرج الشمسي 1 ضمن حقل شمسي (لا يظهر في الشكل) متضمن عدداً كبيراً من العاكسات التي تعمل لعكس الإشعاع الشمسي الساقط عليها فوق المستقبل الحجمي المسدود 4.

يتمتركيب الضاغط 3 والعنفة 5 لمحرك عنفة الغاز على عمود إدارة 6. يمتد عمود الإدارة 6 عمودياً نحو الأسفل من محرك عنفة الغاز 2 لإدارة مولد 7 المركب عمودياً أيضاً ضمن البرج الشمسي 1.

يتم تركيب سقف واقي 8 فوق النهاية العلوية للبرج الشمسي 1. وفي الشكل 1، يتم إظهار السقف الواقي 8 على أنه مسافة كبيرة فوق النهاية العلوية للبرج الشمسي 1. وينبغي أن يفهم أن هذه المسافة هي موجودة فقط للسماح بإظهار تفصيل النهاية العلوية للبرج الشمسي بشكل أكثر وضوحاً. وفي الممارسة، قد يتم تركيب السقف الواقي 8 بشكل أقرب إلى النهاية العلوية للبرج الشمسي 1. ويؤخذ الهواء إلى داخل البرج الشمسي عند نهايته العلوية، كما يشار بالأسهم 15، مضغوطاً، مسخناً، وممدداً في محرك عنفة الغاز 2 والمنفلت من البرج الشمسي 1 عبر أنابيب عادم 9، التي يتم إظهارها في هذا المثال موضوعة عند نهايته السفلية فعلياً.

في التجسيد الحالي، يتم أيضاً توفير مبادل حراري 20، يظهر بخطوط متقطعة، في البرج الشمسي 1 من أجل إزالة الحرارة عن الغاز 21 الذي مرّ عبر محرك عنفة الغاز 2. ومن أجل راحة توضيحية، يتم إظهار المبادل الحراري 20 موضوعاً قرب قاعدة البرج الشمسي، ولكن عملياً وكما هو معروف جيداً في منشأة دورة مركبة، من الأرجح أن يكون موضوعاً في أنبوب عادم للعنفة 5 لاستقبال عادم عنفة حار مباشرة من العنفة 5. ومن ناحية ثانية، فإنه بالإمكان أيضاً، على الرغم من أنه مرغوب فيه بشكل أقل من وجهة نظر الفعالية الديناميكية الحرارية والديناميكية الهوائية، لوضع المبادل الحراري 20 خارج البرج الشمسي 1، على سبيل المثال، في بدن آلة 22 عند قاعدة البرج الشمسي 1. وفي تلك الحالة، قد يتم نقل العادم من العنفة 5 بالأنابيب إلى داخل المبادل الحراري في بدن الآلة ويتم تفريغه من هناك، بدلاً من الأنابيب 9 في البرج الشمسي 1.

ومن المفضل استخدام الحرارة المزالة من الغاز لتشغيل عنفة بخارية 24 المحتواة ضمن بدن الآلة 22. ومن المفضل أن تعمل العنفة البخارية على دورة رانكين، التي يتم فيها إدخال الماء 26 إلى المبادل الحراري 20، يتم تسخينه لإنتاج البخار 28، يتم إمراره عبر العنفة البخارية 24 لتوليد طاقة عمود، يتم تكثيفه بإعادته إلى ماء في مكثف 30 ويعاد تدويره إلى المبادل الحراري 20. وقد يتم استخدام طاقة العمود للعنفة البخارية لإدارة مولد 32.

إحدى المشكلات المرتبطة باستخدام الطاقة الشمسية هي الحفاظ على استمرارية إمداد الطاقة أثناء فترات الإشعاع الشمسي المنخفض أو الصفر. وللمساعدة في حل هذه المشكلة في تنسيق البرج الشمسي الموجود هنا، يتم تقديم ثلاث استراتيجيات ممكنة، التي قد تستخدم بشكل مستقل أو معاً بأية توليفة للحفاظ على إمدادات الطاقة.

استراتيجية أولى هي لتوفير محرك عنفة الغاز 2 مع مستقبلات إشعاع شمسي متسلسلة 4أ و 4ب، التي من شأنها أن تستقبل إشعاعاً مركزاً عليها من مجموعتين من العاكسات المضبوطة بشكل مختلف في الحقل الشمسي. وهذا قد يكون خياراً مفيداً لدعم إنتاج الطاقة عندما يكون الإشعاع الشمسي أقل كثافة، على سبيل المثال أثناء الشتاء أو أثناء فترات سطوع الشمس الضبابي.

استراتيجية ثانية هي لتوفير محرك عنفة الغاز 2 بقدرة إشعال إضافية، ويفضل حجرة احتراق (غير معروضة) موجودة إما بعد مستقبل الإشعاع الشمسي 4، وفي سلسلة تدفق معها، أو في ممر تتدفق منسق على التوازي مع ممر التدفق عبر مستقبل الإشعاع. يمكن لمثل هذا المحرق حرق، على سبيل المثال، غاز طبيعي أو هيدروجين، وقد يعمل لإضافة أو استبدال الحرارة المدخلة من المستقبل الشمسي، على سبيل المثال أثناء الفترات الغائمة أو في الليل.

استراتيجية ثالثة هي لإدخال قدرة تخزين حرارة بين محرك عنفة الغاز 2 ودورة العنفة البخارية. وعلى الرغم من أنها لا تظهر في الأشكال 1 إلى 3، فإن مثل قدرة تخزين الحرارة هذه معروفة آنفاً من استخدامها بالاتصال مع الأبراج الشمسية. إنها قد تتضمن تدوير وسيلة تخزين حرارة سائلة، مثل ملح منصهر ملائم، بين مرفق تخزين معزول – موفر بشكل ملائم في بدن الآلة 22 أو في موضع تحت الأرض مجاور – وتنسيق مبادل حراري دائري متعدد، استبدال مبادل حراري 20. وفي هذه الحالة، قد يتم نقل الحرارة من غازات عادم العنفة 21 إلى الملح المنصهر كوسيلة تبادل حراري وسيطة، ويتم استخدام الملح المنصهر المسخن لتسخين الماء من أجل العنفة البخارية. وفي أثناء فترات الإشعاع الشمسي المنخفض أو الصفر، فإن دورة العنفة البخارية تستمر بتوفير الطاقة بسبب دوران الملح المنصهر من مرفق التخزين عبر تنسيق المبادل الحراري. وفي الفترة التي لأجلها بإمكان الطاقة أن تستمر بتوفيرها في مثل هذه الظروف قد تعتمد على قدرة مرفق تخزين الحرارة.

حتى بعد المرور عبر المبادل الحراري 20، قد يكون هناك قدرة كافية متبقية في غازات العوادم 21 لجعلها جديرة بالاهتمام لاستخلاص القدرة في عنفة ذات ضغط منخفض (غير معروضة)، التي يمكن وضعها مباشرة بعد المبادل الحراري. وهذا قد يساعد على إدارة المولد 7 مثلاً.

ويتم إظهار تفصيل لنوع ممكن واحد من المستقبل الحجمي 4 من أجل إشعاع شمسي في الشكل 2. إن المستقبل الحجمي 4 مؤلف من تعداد من مستقبلات تجويف 11 التي يتم تركيبها حول المستقبل الحجمي بأسلوب متناظر محيطياً. يتضمن كل مستقبل تجويف 11 تجويفاً 12 ممتداً شعاعياً نحو الداخل إلى داخل المستقبل الحجمي. للتجويفات 12 جدار مشكل من كربيد سيليكون له قسم جانبي أسطواني 13 وقسم ذو نهاية نصف كروية 14، على الرغم من أن قسم النهاية 14 يمكن أن يكون له أيضاً شكلاً بيضوياً أو قطعاً مكافئاً. ويتم وضع حجم من السيراميك المسامي الشبكي 16 ضمن المستقبل الحجمي 4، ويكون متصلاً مع جانب داخلي للجدار لكل مستقبل تجويف 11 للعمل كماص للحرارة المتولدة في مستقبل التجويف.

ويتم أيضاً تطوير أنواع أخرى من المستقبل الشمسي. فعلى سبيل المثال، يستخدم نوع واحد نافذة كوارتز بدلاً من جدار كربيد السيليكون المذكور أعلاه، والسطح الخلفي لنافذة الكوارتز معشقة مع ماص حجمي من سيراميك شبكي.

وقد تستخدم المركزات الشمسية (غير معروضة) جنباً إلى جنب مع أي من الأنواع أعلاه لمستقبل إشعاع. والمركزات الشمسية، كما هو معروف، هي بشكل أساسي أنابيب عاكسة داخلياً ذات شكل قمع بفتحات تجميع إشعاع عريضة نسبياً تلتقط أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي المنعكس نحو مستقبلات الإشعاع من الحقل الشمسي. وتستدق المركزات من فتحاتها للتجميع نزولاً إلى أبعاد فتحات الدخول للمستقبلات الشمسية لتكبير كمية الطاقة الشمسية الداخلة إلى المستقبلات إلى الحد الأقصى.

يعمل البرج الشمسي 1 وفقاً للتجسيد الموضح بالأسلوب التالي. يتم ضبط عاكسات الحقل الشمسي (غير معروضة) لعكس الإشعاع الشمسي الساقط عليها فوق المستقبل الحجمي 4 للبرج الشمسي 1. وعلى وجه الخصوص، يتم توجيه الإشعاع الشمسي إلى داخل التجاويف 12 للمستقبل الحجمي 4. يسخن الإشعاع الشمسي الساقط على كل تجويف 12 جدار التجويف 13، 14 ويتم تسيير تلك الحرارة إلى داخل السيراميك المسامي الشبكي 16 الذي يكون على اتصال مع جدار التجويف 13، 14. إن استخدام كربيد السيليكون لجدران التجاويف 12 وللماص السيراميكي الشبكي يسمح بتحقيق درجات حرارة حتى 1200 درجة مئوية لتسخين الهواء المضغوط الذي يمر عبر الماص.

وفي التشغيل، يعمل الضاغط 3 لعنفة الغاز 2 بسحب الهواء إلى داخل عنفة الغاز عبر الفتحة في النهاية العلوية للبرج الشمسي. ويتم ضغط الهواء إلى ضغط ما بين 5 بار و40 بار ويدخل المستقبل الحجمي 4. ويمر الهواء المضغوط خلال السيراميك المسامي الشبكي 16 للمستقبل الحجمي 4، وبعمل ذلك يتم تسخينه إلى درجة حرارة 900 درجة مئوية أو أعلى. وإن امتداد الهواء المضغوط الناتج يجبر الهواء إلى خارج النهاية السفلى للمستقبل الحجمي 4 وعبر العنفة 5، وبذلك يقود دوران عمود الإدارة 6. ويشغّل دوران عمود الإدارة 6 الناتج الضاغط 3 والمولد 7.

يبقى العادم 21 من العنفة 5 مسخناً بشكل ملحوظ فوق درجة الحرارة المحيطة، ويتم تمريره عبر المبادل الحراري 20 لتسخين الماء 26، ومن ثم تفريغه عبر أنابيب العادم، مثل

الأنابيب 9. ويشغل الماء المسخن في المبادل الحراري 20 العنفة البخارية 10 لإدارة المولد 30، كما تم بحثه سابقاً.

أثناء تشغيل مداوم عادي، سيكون من المفضل تدوير عنفات الغاز والبخار في توترات دورانية أعلى من توتر الشبكة الكهربائية، وهذا يعني أنه ما لم يتم استخدام ترس تخفيض ملائم بين العنفات والمولدات 7، 30، فإن المولدات سوف تنتج أيضاً كهرباء بتوتر أعلى من توتر الشبكة. وللتعامل مع هذا، قد يتم وصل المولدات إلى الشبكة عبر توليفة مقوم/عاكس (تيار)، كما هو معروف بالنسبة لعنفات رياح ذات سرعة متغيرة.

ولحماية شفرات العنفة ومكونات أساسية أخرى لعنفة الغاز 2 من الحرارة المتولدة في المستقبل الحجمي 4، يمكن استخدام تقنيات تبريد عنفات غاز موجودة، كما هو معروف للشخص الماهر في الفن.

ولتقليل التحميل العلوي للبرج الشمسي إلى الحد الأدنى، فمن المفضل أن يكون محرك عنفة الغاز 2 آلة خفيفة الوزن نسبياً، أجزاؤها الدورانية مدعومة في الموضع العمودي بمحامل دفعية (غير معروضة) من النوع المستخدم في محركات الطائرات، عادة توليفة محامل كراتية وأسطواناتية، التي تأخذ فيها الأسطوانات معظم الأحمال المحورية.

لقد تم وصف التجسيدات أعلاه بشكل محض على سبيل المثال، ويمكن إجراء تعديلات ضمن نطاق عناصر الحماية الملحقة. وهكذا، ينبغي ألا يكون اتساعها ونطاقها مقتصراً على أي من التجسيدات النموذجية الموصوفة أعلاه. وقد يتم استبدال أي من الميزات المكشف عنها في المواصفات، بما في ذلك عناصر الحماية والرسوم، بميزات بديلة تفيد الأغراض المشابهة أو المعادلة نفسها، ما لم ينص صراحة على خلاف ذلك.

وما لم يقتضي السياق بوضوح خلاف ذلك، في جميع أنحاء الوصف وعناصر الحماية، فإنه سيتم تفسير الكلمات "يتضمن"، "متضمن"، وما شابه، بمعنى شامل في مقابل معنى حصري أو مفصل؛ أي، بمعنى "بما في ذلك، ولكن ليس مقتصراً على".

عناصر الحماية

1. برج شمسي (1) متضمن مستقبل إشعاع شمسي ومحرك عنفة غاز، محرك عنفة الغاز منسق عمودياً ضمن البرج ومتضمن سلسلة تدفق نحو الأسفل:
- ضاغط لضغط هواء مكتنف مسحوب عبر مدخل هوائي واحد على الأقل عند نهاية علوية للبرج،
- تنسيق تسخين لتسخين الهواء المضغوط من الضاغط، يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي جزءاً على الأقل من تنسيق التسخين، و
- عنفة لاستخلاص العمل من الهواء المضغوط المسخن.

2. برج شمسي وفقاً لعنصر الحماية 1، حيث يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي مستقبلاً شمسياً حجمياً مسدوداً واحداً على الأقل.

3. برج شمسي وفقاً لعنصر الحماية 2، حيث يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي مستقبل تجويف واحداً على الأقل.

4. برج شمسي وفقاً لعنصر الحماية 2، حيث يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي مستقبل نافذة واحداً على الأقل.

5. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة، حيث يتضمن مستقبل الإشعاع الشمسي مستقبلاً شمسياً متناظراً بشكل محيطي.

6. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة، متضمن أيضاً سقفاً واقياً موضوعاً فوق النهاية العلوية للبرج.

7. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة متضمن أيضاً مولد كهربائي مدار بواسطة محرك عنفة الغاز.

8. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة متضمن أيضاً أنبوب عادم واحد على الأقل لتسيير غازات العادم خارج البرج.

9. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة، متضمن أيضاً مبادل حراري لاستخلاص الحرارة من الغاز المنفلت من محرك عنفة الغاز.

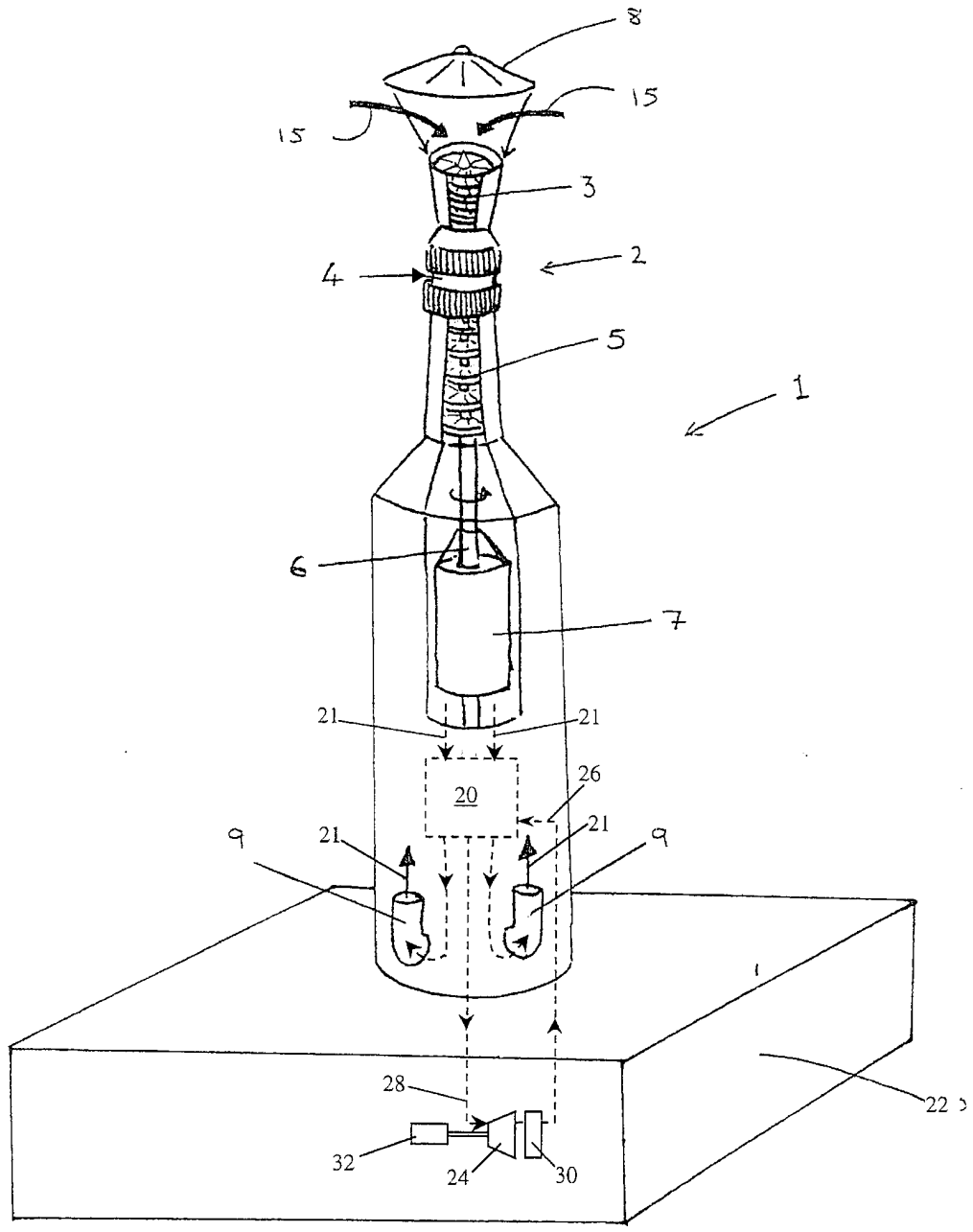
10. برج شمسي وفقاً لعنصر الحماية 9، متضمن أيضاً عنفة بخارية مشغلة بالحرارة المستخرجة من الغاز المنفلت من محرك عنفة الغاز.

11. برج شمسي وفقاً لعنصر الحماية 10، الذي يتم فيه وصل العنفة البخارية لإدارة مولد كهربائي.

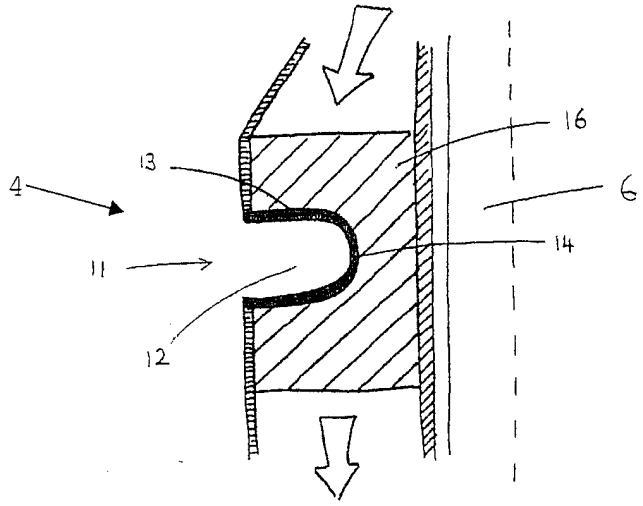
12. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة، متضمن أيضاً وسيلة تخزين حرارة لتخزين الحرارة من الغاز المنفلت من محرك عنفة الغاز.

13. برج شمسي وفقاً لأي من عناصر الحماية السابقة، حيث يشتمل تنسيق تسخين الغاز على قدرة إشعال عنفة غاز إضافية.

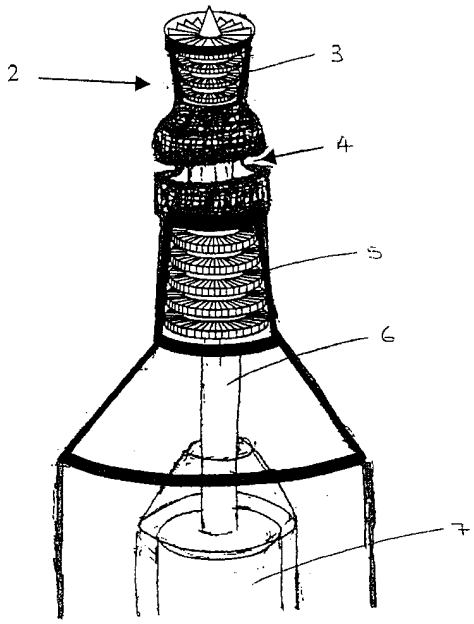
14. برج شمسي وفقاً لعنصر الحماية 13، حيث تتضمن قدرة الإشعال الإضافية حجرة احتراق موضوعة إما بعد مستقبل الإشعاع الشمسي وفي سلسلة تدفق معه، أو في ممر تدفق منسق على التوازي مع ممر تدفق الهواء المضغوط عبر مستقبل الإشعاع.



شكل 1



شكل 2



شكل 3