ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE
---

(19)

المملكة المغربية
المكتب المغربي للملكية الصناعية و التجارية

(12) **BREVET D'INVENTION**

(11) N° de publication :
MA 62702 A1

(51) Cl. internationale :
C25B 1/04

(43) Date de publication :
31.10.2023

(21) N° Dépôt :
62702

(22) Date de Dépôt :
02.03.2022

(30) Données de Priorité :
29.04.2021 EP 21171268.2

(86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT:
PCT/EP2022/055295 02.03.2022

(71) Demandeur(s) :
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, Arcisstraße 21, 80333 München (DE)

(72) Inventeur(s) :
HERRMANN, Stephan ; FISCHER, Felix ; SPLIETHOFF, Hartmut ; HAUCK, Maximilian ; WEINRICH, Jeremias

(74) Mandataire :
ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)

(54) Titre : **SYSTÈME DE PILE À COMBUSTIBLE ET PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT ASSOCIÉ**

(57) Abrégé : La présente invention concerne un système de pile à combustible (1) agencé pour la conversion d'hydrogène pur comprenant a) au moins une pile à combustible (2) comprenant une anode (2a), une cathode (2b) et un électrolyte (2c) disposé entre l'anode (2a) et une cathode (2b), la pile à combustible (2) étant en outre agencée pour une reformation interne de méthane, b) un conduit de combustible (6) reliant une entrée de conduit de combustible (7) avec une entrée d'anode (2e), c) un conduit d'échappement d'anode (4) reliant une sortie d'anode (2d) et une unité de méthanation (3), l'unité de méthanation (3) étant apte à produire du méthane à partir de gaz d'échappement d'anode, et d) un conduit d'échappement d'unité de méthanation (11) reliant une sortie d'unité de méthanation et le conduit de combustible (6), et e) une unité de séparation d'eau et/ou de condenseur d'eau (12) couplée au conduit d'échappement d'unité de méthanation (11), le combustible introduit dans une entrée de conduit de combustible (7) du conduit de combustible (6) est de l'hydrogène pur, et la quantité de méthane produite dans l'unité de méthanation (3) est égale à la quantité de méthane reformée à l'intérieur de la pile à

combustible (2) de telle sorte que la teneur en cycle de méthane à travers le système de pile à combustible (1) est constante.

نظام خلايا الوقود وطريقة تشغيله

الملخص

يدور الاختراع الحالي حول نظام خلايا وقود (1) مثبت لتحويل الهيدروجين النقي المشتمل على أ) خلية وقود واحدة على الأقل (2) تشتمل على أنود (2a) وكاثود (2b) وإلكتروليت (2c) يتم تزويده بين الأنود (2a) والكاثود (2b)، ويتم تثبيت خلية الوقود (2) أيضًا لإعادة التشكيل الداخلية للميثان، وب) قناة وقود (6) للربط بين مدخل قناة الوقود (7) مع مدخل الأنود (2e)، وج) قناة عادم الأنود (4) للربط بين مخرج الأنود (2d) ووحدة الميثنة (3)، وتكون وحدة الميثنة (3) قادرة على إنتاج الميثان من عادم الأنود، ود) قناة عادم وحدة الميثنة (11) تربط مخرج وحدة الميثنة وقناة الوقود (6)، وهـ) وحدة إزالة الماء و/أو وحدة مكثف الماء (12) مقترنة بقناة عادم وحدة الميثنة (11)، حيث يكون الوقود الذي يتم إدخاله في مدخل قناة الوقود (7) من قناة الوقود (6) عبارة عن هيدروجين نقي، وحيث تكون كمية الميثان المنتجة في وحدة الميثنة (3) مكافئة لكمية الميثان التي تمت إعادة تشكيلها داخل خلية الوقود (2) وبذلك تكون عملية تدوير محتوى الميثان عبر نظام خلايا الوقود (1) ثابتة.

نظام خلايا الوقود وطريقة تشغيله

الوصف

يتعلق الاختراع الحالي بنظام خلايا الوقود الذي يتمتع بكفاءة إجمالية متزايدة وطريقة لتشغيل هذا النظام بكفاءة إجمالية متزايدة.

تُستخدم أنظمة خلايا الوقود، وخاصة أنظمة خلايا الوقود عالية الحرارة (مثل SOFC) بدرجة حرارة تشغيل تتراوح بين 600–800 درجة مئوية، على نطاق واسع في المجال السابق لتوليد الطاقة الكهربائية الناتجة عن تفاعل الأكسدة والاختزال لتيار الوقود وتيار المواد المؤكسدة. ويفضل الهيدروجين على وجه الخصوص باعتباره غاز الوقود لخلوه من أي مواد تحتوي على الكربون، الأمر الذي قد يؤدي إلى ترسب الكربون داخل خلايا الوقود.

على الرغم من ذلك، عادةً ما تحتوي أنظمة خلايا الوقود المعروفة في المجال السابق على أقصى استخدام للوقود والبالغ حوالي 70 إلى 80% فقط، وتُظهر أنظمة خلايا الوقود هذه كفاءة إجمالية منخفضة وتولّد ما يصل إلى 60% من الحرارة المهدرة. ونظرًا للحرارة الناجمة عن التفاعل الكهروكيميائي داخل خلية الوقود، ينبغي إجراء عملية التبريد. ويتم ذلك عادةً باستخدام الهواء المزوّد إلى الكاثود لهذا الغرض، والذي يستهلك الكثير من الطاقة من أجل تشغيل منفاخ الهواء.

كما أنه من المعروف أيضًا في المجال السابق، أن تشغيل خلية وقود عالية الحرارة على خليط من الوقود القائم على الهيدروكربون (مثل الغاز الطبيعي) وبخار الماء يؤدي إلى تقليل كمية الحرارة المهدرة بسبب إعادة تشكيل الوقود الهيدروكربوني الماص للحرارة باستخدام بخار الماء الأمر الذي يؤدي بدوره إلى رفع كفاءة النظام إلى مستوى أعلى في كثيرٍ من الأحيان مقارنة بالأنظمة القائمة على الهيدروجين. في المجال السابق، كان من الضروري إضافة بخار الماء أو المواد الأخرى المشتملة على الأكسجين، مثل ثاني أكسيد الكربون، بكميات كبيرة عند التشغيل باستخدام الوقود الهيدروكربوني لمنع الضرر الناتج عن ترسيب الكربون لخلية الوقود. على الرغم من ذلك، نظرًا لأن بخار الماء (و/أو CO_2) يعد ناتجًا لتفاعل خلايا الوقود، فإنه ليس من المفيد إضافة كميات كبيرة من بخار الماء إلى الوقود، لأن هذا يقلل من جهد نرنست وبالتالي يقلل من كفاءة و/أو كثافة طاقة خلية الوقود على نحوٍ ملحوظ.

ومن ثَم، يعد أحد الأهداف التي يعمل الاختراع الحالي عليها هو تقديم نظام خلايا وقود عالي الكفاءة لتوليد الطاقة. فضلاً عن ذلك، يعد أحد أهداف الاختراع الحالي هو تقديم طريقة لتشغيل نظام خلايا

الوقود مع زيادة استخدام الوقود وزيادة الكفاءة الإجمالية. كما يعد أحد الأهداف الأخرى للاختراع الحالي تقديم طريقة لتشغيل نظام خلايا وقود قابل للانعكاس في وضع خلية الوقود مع زيادة استخدام الوقود وزيادة الكفاءة الإجمالية، والتي تكون أيضًا قادرة على العمل في وضع التحليل الكهربائي، وبالتالي إنتاج الهيدروجين النقي من بخار الماء والكهرباء (أي نظام خلايا وقود من هنا يمكن اعتباره، على نحوٍ مكافئ، نظام خلايا وقود عكسي من هذا النوع، وبالأخص أثناء تشغيله في وضع خلايا الوقود).

يتحقق هذا الهدف عن طريق عناصر الحماية المستقلة. تحتوي عناصر الحماية الفرعية على نماذج تطبيقية مفيدة خاصة بالاختراع الحالي.

ووفقًا لذلك، يتم ضبط نظام خلايا الوقود المبتكر لتحويل الهيدروجين النقي الذي تتم تغذيته إلى نظام خلايا الوقود (القابل للانعكاس) ويشتمل على خلية وقود واحدة على الأقل، والتي، وفقًا لنموذج تطبيقي مفضل، تكون عبارة عن خلية وقود أكسيد صلب (SOFC). وتتكون خلية الوقود نفسها من أنود وكاثود وإلكتروليت، يتم تزويده بين الأنود والكاثود. يتم ضبط خلية الوقود بشكل إضافي لإعادة التشكيل الداخلي للميثان. تشير كلمة "داخلي" بالمعنى المقصود هنا إلى "داخل خلية الوقود". أو بعبارةٍ أخر، يشكّل قسم إعادة التشكيل جزءًا من خلية الوقود وبالتالي يتم تزويده ضمن خلية الوقود (داخل خلية الوقود)، ويقع على وجه الخصوص بالقرب من و/أو في منطقة التفاعل الكهروكيميائي لخلية الوقود وبالتالي يكون على اتصال حراري مباشر مع منطقة تفاعل خلايا الوقود.

يتم تزويد الوقود إلى الأنود من مدخل الأنود عبر قناة الوقود وقد كان الوقود المُدخل في قناة الوقود عبر مدخل قناة الوقود عبارة عن هيدروجين نقي (والذي، بالطبع، قد يحتوي، استنادًا إلى مصدره، على شوائب لا يمكن تفاديها يصل حجمها إلى 5% من الحجم). يتم تزويد قناة عادم الأنود، والتي تربط منفذ أنود خلية الوقود مع وحدة الميثنة. وتكون وحدة الميثنة قادرةً على إنتاج غاز الميثان من عادم الأنود. ولمزيدٍ من التحديد، يحتوي عادم الأنود على مواد تحتوي على الهيدروجين والكربون، وبالتالي، يمكن لوحدة الميثنة إنتاج الميثان (CH_4) من خليط يحتوي على CO وCO_2 والهيدروجين. كما تشتمل وحدة الميثنة أيضًا على مخرج وحدة الميثنة، وتصل قناة عادم وحدة الميثنة بين مخرج وحدة الميثنة وقناة الوقود. أو بعبارةٍ أخرى، يتم ربط قناة عادم وحدة الميثنة مع قناة الوقود بحيث يتم تزويد غاز الميثان الناتج في وحدة الميثنة إلى قناة الوقود وخلطه مع الهيدروجين النقي الذي يتم تزويده إلى قناة الوقود عبر مدخل قناة الوقود.

عند تشغيل نظام خلايا الوقود المذكور، يتم تزويد الوقود المشتمل على الهيدروجين والميثان (= خليط) إلى الأنود ويتم إعادة تشكيل الميثان الموجود في الوقود داخل خلية الوقود. نظرًا لأن تفاعل إعادة التشكيل يكون ماصًا للحرارة، فإنه يتم امتصاص الحرارة الناجمة عن تفاعل خلية الوقود (استهلاك الهيدروجين في جانب الأنود) واستخدامها في تفاعل إعادة التشكيل. أو بعبارةٍ أخرى، يمكن استهلاك الحرارة الناجمة داخل خلية الوقود عن طريق تفاعل خلية الوقود على نحوٍ فعال عن طريق إجراء تفاعل إعادة التشكيل داخل خلية الوقود. هذا يجعل تبريد خلية الوقود عن طريق استخدام الهواء المزود للكاثود أقل ضرورة، أي يتم استخدام طاقة كهربائية أقل لقيادة مروحة أو ما شابه ذلك لتزويد الكاثود بالهواء نظرًا لأن الهواء لم يعد يستخدم بشكل أساسي لتبريد خلية الوقود.

على الرغم من ذلك، للحصول على هذا التبريد الداخلي الفعال، والذي يعمل، بفضل توفير الطاقة الكهربائية لتشغيل مروحة أو ما شابه ذلك في جانب الكاثود، على تحسين الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود، فإنه من الضروري تزويد خلية الوقود بكمية الميثان المناسبة. وفقًا لما ورد في الاختراع الحالي، لا يتم تزويد هذا الميثان، الذي تتم تغذيته إلى نظام خلايا الوقود، من خارج النظام ليتم استهلاك الميثان عن طريق تشغيل نظام خلايا الوقود، وإنما بدلاً من ذلك، يتم توليد الميثان المستخدم في عملية إعادة التشكيل داخل وحدة الميثنة، والتي تعد أحد المكونات الأساسية لنظام خلايا الوقود.

فضلاً عن ذلك، يتم التحكم في كمية الميثان المنتجة داخل وحدة الميثنة بحيث تكون مساوية لكمية الميثان المُعاد تشكيلها داخليًا داخل خلية الوقود بحيث يكون محتوى تدوير الميثان عبر نظام خلايا الوقود ثابتًا. ينتج عن هذا دورة ميثان مغلقة. عندما تكون كمية الميثان المعاد تشكيله مساوية لكمية الميثان المنتجة داخل وحدة الميثنة، يمكن تعديل كمية الميثان المعاد تشكيله بحيث لا يتم تزويد طاقة تبريد أو تزويد الحد الأدنى منها فقط إلى خلية الوقود عبر الكاثود على سبيل المثال.

يعمل تدوير كمية ثابتة من الميثان عبر نظام خلايا الوقود باستخدام خلية وقود مضبوطة لإعادة التشكيل الداخلية ووحدة الميثنة المُدارة على النحو الموضح أعلاه، والمقدمة في قناة عادم الأنود، على رفع إنتاج الطاقة، وبالتالي، رفع مستوى الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود.

يشتمل نظام خلايا الوقود أيضًا على وحدة إزالة الماء و/أو وحدة مكثف الماء مقترنة بقناة عادم وحدة الميثنة، والتي يمكن تثبيتها في اتجاه التيار السفلي المؤدي إلى وسيلة أولى لنقل الحرارة، إن وُجِدت. وتكون وحدة إزالة الماء و/أو وحدة مكثف الماء قادرة على خفض محتوى البخار في منتج الميثنة بحيث يحتوي

خليط الوقود الذي تتم تغذيته إلى خلية الوقود على كمية صغيرة من البخار المتبقي فقط. إذ تعمل كميات البخار الكبيرة في خليط الوقود إلى حدٍ كبير على خفض الكفاءة الكهروكيميائية لتفاعل خلايا الوقود عن طريق تقليل جهد نرنست المحتمل.

وبذلك، تسهم إزالة تدوير الماء عبر نظام خلايا الوقود في رفع الكفاءة الكهروكيميائية، الأمر الذي يسهم بدوره في رفع الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود.

ورغم عدم الإشارة إلى ذلك صراحةً، تشتمل خلية الوقود لنظام خلايا الوقود المبتكر أيضًا على قناة مواد مؤكسدة لتزويد مادة مؤكسدة، مثل الأكسجين أو الهواء، إلى الكاثود عبر مدخل الكاثود. كما يتم تزويد قناة عادم مؤكسد أيضًا.

ويفضل أن يشتمل نظام خلايا الوقود الموضح أعلاه أيضًا على وسائل للتحكم في نسبة الهيدروجين إلى الميثان في خليط الوقود اعتمادًا على درجة حرارة وضغط تشغيل خلايا الوقود، بحيث يتم منع ترسيب الكربون بشكل ديناميكي حراري دون الحاجة إلى وجود بخار الماء في خليط الوقود، أي بدون إضافة الماء إلى الوقود المزود لخلية الوقود، حيث تكون الوسائل قادرة على تعديل النسبة وفقًا للقيم التالية والقيم الوسيطة عن طريق الاستكمال الخطي بين القيم المعطاة:

- الضغط الجوي، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.7$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 0.63$؛ أو
- الضغط الجوي، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو
- الضغط الجوي، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 3$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو
- الضغط الجوي، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 10$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.4$.

يعد هذا مفيدًا فيما يتعلق بالتأثير السلبي المذكور أعلاه لوجود بخار الماء في الوقود الذي تتم تغذيته إلى أنود خلية الوقود على جهد نرنست لخلية الوقود وبالتالي يؤدي إلى رفع كفاءة خلية الوقود. بعد ذلك، تتم إعادة تشكيل محتوى الميثان في الوقود الذي تتم تغذيته إلى الأنود تدريجيًا مع تكوين بخار الماء فقط أثناء الأكسدة الكهروكيميائية للهيدروجين في الوقود بدلاً من بخار الماء الزائد الموجود في تغذية الوقود في المجال السابق. وتوجد ميزة أخرى من تلك الخطوة، وهي أن تفاعل إعادة التشكيل ينتشر بشكل مستمر على امتداد منطقة تفاعل خلايا الوقود بدلاً من التسبب في خفض درجة الحرارة إلى حدٍ كبير عند مدخل الأنود مباشرة.

وفقًا لنموذج تطبيقي مفضل إضافي، تشتمل قناة عادم وحدة الميثنة على أول وسيلة نقل حرارة (مثل مبادل حراري) لنقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى الوقود (الخليط) المزود إلى مدخل الأنود. نظرًا لأن تفاعل الميثنة يعد تفاعلاً طاردًا للحرارة، فإن نقل الحرارة الموجودة في منتج الميثنة إلى الوقود في قناة الوقود يزيد من معدل استهلاك الحرارة، وبالتالي، يسهم في زيادة المستوى الإجمالي للكفاءة الكلية.

لزيادة إنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة نظام خلايا الوقود، يشتمل نظام خلايا الوقود على نحوٍ مفيد على دائرة بخار، قادرة على إنتاج طاقة كهربائية باستخدام بخار الماء. تقترن دائرة البخار حراريًا بوحدة الميثنة، بقدر ما يتم ضبط منطقة تفاعل وحدة الميثنة، حيث يتم تفاعل الميثنة الطارد للحرارة، بشكل مباشر أو غير مباشر لنقل الحرارة إلى دائرة البخار، ويفضل أن يتم النقل إلى قسم التبخر في دائرة البخار. باستخدام هذه الحرارة المنقولة، يمكن إنتاج بخار الماء بسهولة، والذي يمكن استخدامه بعد ذلك لتشغيل التوربين أو ما إلى ذلك، والذي ينتج بعد ذلك طاقة كهربائية.

لزيادة كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية عبر الدائرة البخارية، يفضل أن تشتمل دائرة البخار على توربين واحد على الأقل.

وعلى نحوٍ مفضل في ضوء زيادة مستوى الاستخدام الحراري، قد تشتمل قناة عادم الأنود بين مخرج الأنود ووحدة الميثنة في نظام خلايا الوقود

أيضًا على وسائل ثانية لنقل الحرارة (مثل مبادل حراري) لنقل الحرارة من عادم الأنود إلى الوقود أو خليط الوقود المراد تزويده إلى الأنود عبر قناة الوقود. نظرًا لأن تفاعل خلايا الوقود يعد طاردًا للحرارة، فإن الحرارة المتضمنة في عادم الأنود تُستخدم مباشرةً لتسخين الوقود أو خليط الوقود، مما يدعم بشكل كبير تفاعل إعادة التشكيل الماص للحرارة ويساهم في تسهيل تفاعل خلايا الوقود.

عندما يتوافق الميثان المزوّد إلى مدخل الأنود مع الميثان المنتج في وحدة الميثنة، بالإضافة إلى محتوى الميثان الأولي أثناء التشغيل، لا يتم توفير ميثان إضافي لنظام خلايا الوقود، ووفقًا لهذا النموذج التطبيقي، يمكن الاحتفاظ بالانبعاثات ذات الصلة بالكربون عند أدنى حد، بحيث تشتمل فقط على تسربات طفيفة في الحشية.

يمكن تحسين معدل الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود المبتكر وفقًا لأحد النماذج التطبيقية، حيث يتم ضبط محتوى تدوير الميثان داخل نظام خلايا الوقود بحيث يتم استهلاك ما لا يقل عن 30%، ويفضل ما لا يقل عن 50% ويفضل أكثر ما لا يقل عن 70% من حرارة تفاعل خلايا الوقود عن طريق تفاعل إعادة التشكيل.

نظرًا لزيادة المرونة والأداء الوظيفي لنظام خلايا الوقود، يُفضل أن تكون خلية الوقود عبارة عن خلية وقود قابلة للانعكاس ويمكن تشغيلها في وضع خلية الوقود بالإضافة إلى وضع التحليل الكهربائي.

في وضع التحليل الكهربائي، يفضل أن تكون خلية الوقود قادرة على تحويل خليط من الهيدروجين وبخار الماء إلى خليط أكثر ثراءً في الهيدروجين بدون وجود غازات تحتوي على الكربون. يتيح ذلك بشكل فعال إنتاج الهيدروجين النقي في النظام، والذي يمكن، بعد تكثيف بخار الماء المتبقي، توفيره لمستخدمي الهيدروجين الخارجيين أو تخزينه لإعادة استخدامه في وضع تشغيل خلايا الوقود.

يتعلق جانب آخر من جوانب الاختراع الحالي بطريقة تشغيل نظام خلايا الوقود الموضح أعلاه. وبالتالي، في ضوء المكونات والأداء الوظيفي لنظام خلايا الوقود، تمت الإشارة الإضافية إلى التعليقات التوضيحية والتوضيحات الواردة أعلاه.

تشتمل الطريقة على تغذية الهيدروجين النقي في مدخل قناة الوقود لقناة الوقود. يعمل الهيدروجين كوقود وحيد يتم تحويله في التوازن الكلي لنظام خلايا الوقود بحيث لا يكون هناك انبعاثات عامة لثاني أكسيد الكربون من النظام. في قناة الوقود، يتم خلط الهيدروجين النقي مع عادم وحدة الميثنة الذي تتم تغذيته من قناة عادم وحدة الميثنة، بعد إزالة الماء أو تكثيفه من عادم وحدة الميثنة. يشتمل عادم وحدة الميثان المذكورة على الهيدروجين والميثان كمكونات رئيسية. ثم تتم تغذية الخليط الناتج إلى مدخل الأنود. في خلية الوقود، تتم إعادة تشكيل الميثان الموجود في الخليط ببخار الماء الناتج أساسًا من الأكسدة الكهروكيميائية للهيدروجين داخل خلية الوقود بحيث يتم إنتاج الهيدروجين وأكاسيد الكربون في تفاعل إعادة التشكيل الماص للحرارة. يتم تنفيذ تفاعل خلايا الوقود في خلية الوقود، حيث يعمل الهيدروجين كوقود أساسي، وهو الوقود

الذي يتم تحويله. بعد ذلك، يتم تزويد عادم الأنود الخارج من مخرج الأنود إلى وحدة الميثنة عبر قناة عادم الأنود ويُنتج الميثان من عادم الأنود داخل وحدة الميثنة. وتكون كمية الميثان التي يتم إنتاجها داخل وحدة الميثنة مساوية لكمية الميثان التي تمت إعادة تشكيلها في وحدة إعادة التشكيل الداخلي بحيث يكون محتوى تدوير الميثان عبر نظام خلايا الوقود ثابتًا ويتم توفير دورة ميثان مغلقة.

نظرًا لأنه يتم الاحتفاظ بالميثان المستخدم في طريقة التشغيل المذكورة أعلاه بكمية ثابتة ولا تتم تغذية ميثان جديد عبر قناة الوقود، يمكن منع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لنظام خلايا الوقود بكفاءة. علاوة على ذلك، نظرًا لأنه تتم إعادة تشكيل الميثان داخل خلية الوقود، يمكن استخدام الحرارة الناتجة عن تفاعل خلايا الوقود لتنفيذ تفاعل إعادة التشكيل الماص للحرارة بحيث يتم تبريد خلية الوقود مباشرةً عن طريق تفاعل إعادة التشكيل الداخلي. وبذلك، يمكن تفادي التبريد أساسًا عن طريق توزيع كميات كبيرة من الهواء على الكاثود، والذي يستهلك الكثير من الطاقة الكهربائية من أجل التهوية بالمروحة أو ما شابه ذلك على سبيل المثال. وبالتالي، تُستخدم الحرارة المتولدة في نظام خلايا الوقود بشكل فعال ولا يتم إهدارها، مما يزيد من درجة الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود.

وفقًا لنموذج تطبيقي مفضل إضافي، يتم التحكم في ظروف التشغيل لخلية الوقود عن طريق تعديل نسبة تدوير الهيدروجين والميثان اعتمادًا على ضغط التشغيل ودرجة الحرارة داخل خلايا الوقود على النحو التالي، بحيث لا يفضل ترسيب الكربون بشكل ديناميكي حراري حتى في حالة عدم وجود بخار الماء، حيث يوفر الاستكمال الخطي بين القيم المعطاة نموذجًا حدوديًا تقريبيًا لترسب الكربون، والذي يجب عدم تقويضه:

- الضغط الجوي، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.7$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 0.63$؛ أو
- الضغط الجوي، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو
- الضغط الجوي، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 3$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو

- الضغط الجوي، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 10$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.4$.

وفقًا لنموذج تطبيقي مفضل ومن أجل زيادة كفاءة الحرارة واستخدام الحرارة، تشتمل الطريقة على نقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى الخليط لتغذيته إلى مدخل الأنود. وبذلك يتم رفع الكفاءة الحرارية لنظام خلايا الوقود.

بدلاً من ذلك أو إضافةً إلى ذلك، قد تشتمل الطريقة على خطوة نقل الحرارة من وحدة الميثنة إلى دائرة بخار لدعم إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام بخار الماء في دائرة البخار. وفقًا لهذه الخطوة، يمكن زيادة إنتاج الطاقة الكهربائية مباشرةً. على سبيل المثال، يمكن تشغيل التوربين بواسطة بخار الماء الناتج عن تسخين الماء بالحرارة الناتجة أثناء تفاعل الميثنة.

يُفضل أن تتم إزالة الماء أو تكثيف الماء بعد نقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى الخليط المراد تغذيته إلى مدخل الأنود، حيث يتم على وجه الخصوص التحكم في إزالة الماء أو تكثيف الماء بحيث يكون محتوى بخار الماء في الخليط عند مدخل الأنود أقل من 10% من الحجم، ويفضل أن يكون أقل من 3% من الحجم، بالنسبة لتدفق الحجم الكلي للخليط الذي يتم تزويده إلى مدخل الأنود. وهكذا يتم ضمان ارتفاع الكفاءة وتوليد الطاقة.

يفضل أيضًا ضبط محتوى تدوير الميثان داخل نظام خلايا الوقود بحيث يتم استهلاك ما لا يقل عن 30%، ويفضل ما لا يقل عن 50% ويفضل أكثر ما لا يقل عن 70% من حرارة تفاعل خلايا الوقود عن طريق تفاعل إعادة التشكيل. وكلما زاد استهلاك الحرارة الناتجة عن تفاعل خلايا الوقود، قلت الطاقة الحرارية المهدرة في شكل عادم هواء دافئ، مما يساهم في رفع درجة الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود.

قد تشتمل الطريقة أيضًا على خطوة تدوير كمية إضافية من الهيدروجين عبر نظام خلايا الوقود، حيث لا يتم استهلاك كمية إضافية لتدوير الهيدروجين.

وبصورة مفضلة أكثر، قد يشتمل نظام خلايا الوقود على أكثر من خلية وقود واحدة ويتم تعيين مجموع التيار المتدفق عبر جميع خلايا الوقود الفردية (كثافة التيار مضروبة في مساحة الخلية الإجمالية في مجموعة خلايا الوقود في النظام) بحيث يساوي عدد الإلكترونات المتاحة في الهيدروجين الذي تتم تغذيته في نظام خلايا الوقود من خلال مدخل قناة الوقود (2 مول من الإلكترونات لكل مول من الهيدروجين الذي تتم

تغذيته لكل وحدة زمنية)، مطروحًا من الهيدروجين المحتمل إهداره عن طريق التسربات. يشبه ذلك استخدام الوقود بنسبة 100% من الهيدروجين الذي تتم تغذيته عبر قناة الوقود مطروحًا من تسربات الهيدروجين المحتملة.

وفقًا لنموذج تطبيقي مفضل إضافي، يمكن أن تكون خلية الوقود عبارة عن خلية وقود قابلة للانعكاس، حيث إنه عند تشغيل خلية الوقود في وضع التحليل الكهربائي، يتم إنتاج الهيدروجين بدلاً من الأنواع المشتملة على الكربون، ويتم تدوير الهيدروجين وبخار الماء على نحوٍ اختياري عبر خلية الوقود. وهكذا يمكن إنتاج الهيدروجين النقي في نفس نظام خلايا الوقود القابلة للانعكاس.

وفقًا لما ورد في نموذج تطبيقي بديل، في وضع التحليل الكهربائي، يمكن إنتاج الميثان أو خليط من الميثان والهيدروجين وإضافة الماء وثاني أكسيد الكربون إلى النظام بمعدل حجم يقارب $H_2O : CO_2 = 4 : 1$. وبذلك يمكن إنتاج الميثان بطريقة فعالة للغاية، والذي يمكن استخدامه في أغراض أخرى أو تخزينه.

ويفضل أكثر أن تعمل وحدة الميثنة، في وضع التحليل الكهربائي، على تزويد بخار الماء إلى تفاعل التحليل الكهربائي عند إنتاج الميثان.

سيتم توضيح المزيد من التفاصيل والمزايا والخصائص للاختراع الحالي فيما يتعلق بالوصف التالي للنماذج التطبيقية في ضوء الشكل المرفق. يوضح الشكل:

الشكل 1 رسم تخطيطي لنظام خلايا الوقود وفقًا لأحد النماذج التطبيقية.

تم وصف الاختراع الحالي بالرجوع إلى الشكل التالي. وهنا، يتم عرض جميع العناصر والمكونات الأساسية لخلية الوقود المبتكرة. وقد تم حذف جميع العناصر والمكونات الأخرى لزيادة فهم الاختراع الحالي. وبالنسبة لأي قيم درجة حرارة تم إعطاؤها هنا، فقد تم تقديمها على سبيل الإيضاح فحسب لإتاحة فهم أفضل للاختراع ولا تمثل أي قيود على القيم الموضحة.

وبالتفصيل، يوضح الشكل 1 نظام خلايا الوقود 1، والذي تم ضبطه لتحويل الهيدروجين النقي. يشتمل نظام خلايا الوقود على خلية وقود واحدة 2 تشتمل على أنود 2a، وكاثود 2b وإلكتروليت 2c يتم تزويده بين الأنود 2a والكاثود 2b. يتم ضبط خلية الوقود 2 بشكل إضافي لإعادة التشكيل الداخلي في الأنود (2a) أو حوله. يشير مصطلح "إعادة التشكيل الداخلية" إلى أن تحويل الميثان، ومن ثَم تفاعل إعادة تشكيل الميثان، يتم داخل خلية الوقود 2، أي داخل خلية الوقود، وبالتالي، في ظل اتصال حراري مباشر مع منطقة التفاعل لخلية الوقود 2.

يشتمل نظام خلايا الوقود 1 أيضًا على وحدة ميثنة 3. وقد تم تكوين وحدة الميثنة 3 لإنتاج الميثان من عادم الأنود. وبالتالي، يتم توصيل مخرج الأنود 2d ووحدة الميثنة 3 عبر قناة عادم الأنود 4.

تقترن وحدة الميثنة 3 حراريًا بدورة بخار 5، ومن ثَم، يشكّل مبادل حراري ثالث 5a جزءًا من وحدة الميثنة 3. تشتمل دورة البخار 5 على توربين 5b لتوليد الطاقة الكهربائية، والتي يتم تشغيلها بواسطة بخار الماء. فضلاً عن ذلك، يتم توفير مكثف مياه أو فاصل ماء 5c ومضخة 5d في دورة البخار 5.

تعمل قناة الوقود 6 على ربط مدخل قناة الوقود 7 مع مدخل الأنود 2e. يتم تزويد منفاخ 8 في قناة الوقود 6 وفي التيار السفلي له، يتم توفير مبادل حراري أول 9 ومبادل حراري ثانٍ 10.

تقوم قناة عادم وحدة الميثنة 11 بالربط بين وحدة الميثنة 3 وقناة الوقود 6 بالتيار العلوي للمنفاخ 8. في قناة عادم وحدة الميثنة 11، يتم تزويد مكثف مياه أو فاصل ماء 12 لفصل الماء عن عادم وحدة الميثنة.

عند تشغيل نظام خلايا الوقود 1، تتم تغذية الهيدروجين النقي إلى قناة الوقود 6 عبر مدخل قناة الوقود 7. يشير مصطلح "الهيدروجين النقي" إلى الهيدروجين بدرجة نقاء لا تقل عن 95% من الحجم، ويفضل أن تكون 99.5% على الأقل من الحجم، والباقي عبارة عن شوائب لا يمكن تفاديها. داخل قناة الوقود 6، يتم خلط الهيدروجين مع عادم وحدة الميثنة، والتي تشتمل أساسًا على الميثان والهيدروجين. مثالاً على ذلك، يمكن تغذية 4 مول من الهيدروجين في الثانية عبر مدخل قناة الوقود 7، في حين أن عادم وحدة الميثنة قد يتم تغذيته بمعدل 1 مول من الهيدروجين في الثانية بالنسبة إلى 1.25 مول ميثان في الثانية إلى قناة الوقود 6. بعد ذلك يتم ضغط خليط من 5 مول/ث من الهيدروجين مع 1.25 مول/ث من الميثان في منفاخ 8 ويصل إلى أول مبادل حراري 9. يعمل المبادل الحراري 9 على نقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى خليط الوقود المشتمل على الهيدروجين والميثان بشكل أساسي، بحيث يتم تسخين الخليط مسبقًا لأول مرة وزيادة درجة الحرارة من حوالي درجة حرارة بيئية (20 درجة مئوية) إلى 300 درجة مئوية مثلاً.

وبعد ذلك يدخل خليط الوقود في المبادل الحراري الثاني 10 وفي هذا المبادل، يتم نقل الحرارة من عادم الأنود إلى الخليط بحيث تكون درجة حرارة الخليط عند مدخل الأنود 2e حوالي 580 درجة مئوية مثلاً. وعادة ما تكون درجة الحرارة العالية تلك ضرورية لتشغيل خلايا وقود الأكسيد الصلب على نحوٍ مناسب.

يترك عادم الأنود مخرج الأنود 2d عند درجة حرارة عالية تبلغ حوالي 630 درجة مئوية مثلاً، حيث يتم استخدام هذه الحرارة لزيادة التسخين المسبق للخليط لتزويده إلى مدخل الأنود 2e في المبادل الحراري الثاني 10. ثم يدخل عادم الأنود المبرد مسبقًا إلى وحدة الميثنة 3 ويتولد الميثان عن طريق تفاعل الميثنة الطارد للحرارة. نظرًا لأن عادم الأنود يدخل وحدة الميثنة 3 عند درجة حرارة منخفضة، يتم تعزيز تفاعل الميثنة، وهو تفاعل طارد للحرارة، بشكل أكبر.

يؤدي تفاعل الميثنة إلى تزويد الميثان والحرارة وبعدها يتم نقل الحرارة إلى دورة البخار 5. يمكن استخدام الحرارة لإنتاج بخار الماء من الماء ويمكن لبخار الماء أن يقود التوربينات بحيث يمكن إنتاج طاقة كهربائية إضافية واستخدام حرارة التفاعل بشكل أكثر فاعلية.

يمكن استخدام الحرارة المحسوسة الناجمة عن عادم الميثنة من أجل التسخين المسبق لخليط الوقود المشتمل على الهيدروجين والميثان داخل قناة الوقود 6 باستخدام المبادل الحراري الأول 9. قد تنخفض درجة حرارة عادم وحدة الميثنة بعد ذلك إلى 80 درجة مئوية وبعد ذلك يتم تكثيف الماء وفصله عن عادم وحدة الميثنة في مكثف الماء أو فاصل الماء 12. ونظرًا لارتباط ضغط التشبع ودرجة الحرارة، يؤدي ذلك زيادة معدل انخفاض حرارة عادم وحدة الميثنة إلى قيمة قريبة بشكل مثالي من درجة حرارة البيئة من أجل الحصول على محتوى بخار ماء منخفض. بعد ذلك يتم خلط عادم الميثنة الذي تم تقليل الماء به مرة أخرى مع تغذية الهيدروجين الخارجية التي تدخل قناة الوقود 6 عبر مدخل قناة الوقود 7.

وبغرض الإكمال، تم توضيح أن الكاثود 2b يشتمل على مدخل كاثود 2f ومخرج كاثود 2g. يتم تزويد غاز مؤكسد، مثل الأكسجين النقي أو الهواء إلى مدخل الكاثود 2g عبر قناة المواد المؤكسدة 13. داخل قناة المواد المؤكسدة 13، يتم تثبيت منفاخ 14 ومبادل حراري 15 أيضًا. يعمل المبادل الحراري على استخدام الحرارة الناجمة عن عادم الكاثود المُزوَّد عبر قناة عادم الكاثود 16 للتسخين المسبق للمادة المؤكسدة داخل قناة المواد المؤكسدة 13، بحيث يتم استخدام الطاقة الحرارية في جانب الكاثود بخلية الوقود 2 بشكل فعال.

ويكون نظام خلايا الوقود 1 عالي الكفاءة. استنادًا إلى ظروف التشغيل، مثل درجة الحرارة والضغط ونسبة استخدام الوقود الفردي، وما إلى ذلك، تبلغ الكفاءة الكهربائية لخلايا الوقود حوالي 70%، الأمر الذي يعني أنه يتم الحصول على 70% من قيمة التسخين لوقود الهيدروجين الذي تتم تغذيته عبر المدخل 7 كطاقة كهربائية في خلية الوقود 2. إضافةً إلى ذلك، يمكن إنتاج حوالي 10% من الطاقة الكهربائية بواسطة

دورة البخار 5. رغم ذلك، لا يتحقق التوازن الحراري الممتاز إلا إذا كانت كمية الميثان المنتجة في وحدة الميثنة مكافئة لكمية الميثان التي تمت إعادة تشكيلها داخل خلية الوقود بحيث يكون محتوى تدوير الميثان عبر نظام خلايا الوقود ثابتًا. يتم التحكم في ما يسمى بدورة الميثان المغلقة بحيث يتم استهلاك الحرارة الناتجة داخل خلية الوقود 2 على نحوٍ كبير من خلال تفاعل إعادة التشكيل داخل خلية الوقود. وبذلك يتم توفير الطاقة الحرارية وبالتالي الطاقة الكهربائية المستخدمة للتبريد الإضافي لخلية الوقود 2 على سبيل المثال عن طريق تزويد كميات كبيرة من الهواء إلى الكاثود. علاوة على ذلك، ينتج عن توليد الميثان من عادم الأنود الحرارة مرةً أخرى، والتي يمكن استخدامها لإنتاج التيار الكهربائي الإضافي في دورة البخار، بحيث تكون الكفاءة الإجمالية لنظام خلايا الوقود 1 عالية بشكل استثنائي.

بينما تم توضيح النماذج التطبيقية للاختراع ووصفها، فليس المقصود أن توضح هذه النماذج التطبيقية وتصف كل الأشكال الممكنة للاختراع. تعد المصطلحات المستخدمة في المواصفات مجرد مصطلحات بغرض الوصف فقط وليس التقييد، ومن المفهوم أنه يمكن إجراء تغييرات مختلفة دون الخروج عن روح ونطاق الاختراع.

العلامات المرجعية

1	نظام خلايا الوقود
2	خلية الوقود
2a	الأنود
2b	الكاثود
2c	الإلكتروليت
2d	مخرج الأنود
2e	مدخل الأنود
2f	مدخل الكاثود
2g	مخرج الكاثود
3	وحدة الميثنة
4	قناة عادم الأنود
5	دورة البخار

5a	المبادل الحراري الثالث
5b	توربين
5c	مكثف مائي أو فاصل مائي
5d	مضخة
6	قناة الوقود
7	مدخل قناة الوقود
8	المنفاخ
9	المبادل الحراري الأول
10	المبادل الحراري الثاني
11	قناة عادم وحدة الميثنة
12	مكثف مائي أو فاصل مائي
13	قناة المواد المؤكسدة
14	المنفاخ
15	المبادل الحراري
16	قناة عادم الكاثود

عناصر الحماية

1. نظام خلايا وقود (1) مثبت لتحويل هيدروجين نقي يشتمل على:

- خلية وقود واحدة على الأقل (2) تشتمل على أنود (2a)، وكاثود (2b) وإلكتروليت (2c) يتم تزويده بين الأنود (2a) والكاثود (2b)، ويتم ضبط خلية الوقود (2) من أجل إعادة التشكيل الداخلي للميثان،
- قناة وقود (6) تربط مدخل قناة الوقود (7) بمدخل الأنود (2e)،
- قناة عادم الأنود (4) تربط بين مخرج الأنود (2d) ووحدة الميثنة (3)، وتكون وحدة الميثنة (3) قادرة على إنتاج غاز الميثان من عادم الأنود،
- قناة عادم وحدة الميثنة (11) تربط مخرج وحدة الميثنة وقناة الوقود (6)، و
- وحدة إزالة الماء و/أو وحدة مكثف الماء (12) مقترنة بقناة عادم وحدة الميثنة (11)،

حيث يكون الوقود المُدخل إلى مدخل قناة الوقود (7) بقناة الوقود (6) عبارة عن هيدروجين نقي، و حيث تكون كمية الميثان المنتجة في وحدة الميثنة (3) مساوية لكمية الميثان المُعاد تشكيلها داخل خلية الوقود (2) بحيث يكون محتوى تدوير الميثان عبر نظام خلايا الوقود (1) ثابتًا.

2. نظام خلايا الوقود (1) وفقًا لما ورد في عنصر الحماية 1، يشتمل كذلك على وسائل للتحكم في نسبة الهيدروجين إلى الميثان في خليط الوقود اعتمادًا على درجة حرارة وضغط تشغيل خلايا الوقود، بحيث يتم منع ترسيب الكربون بشكل ديناميكي حراري دون الحاجة إلى وجود بخار الماء في خليط الوقود، حيث تكون الوسائل قادرة على تعديل النسبة وفقًا للقيم التالية والقيم الوسيطة عن طريق الاستكمال الخطي بين القيم المعطاة:

- الضغط الجوي، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.7$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 0.63$؛ أو
- الضغط الجوي، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو
- الضغط الجوي، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 3$؛ أو

- 5 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2$ > 1.5؛ أو
- الضغط الجوي، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2$ > 10؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2$ > 5؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2$ > 2.4.

3. نظام خلايا الوقود (1) وفقاً لما ورد في عنصر الحماية 1 أو 2، قناة عادم وحدة الميثنة (11) تشتمل على وسائل نقل الحرارة الأولى (9) لنقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى الوقود المزوّد إلى مدخل الأنود (2e) و/أو

يشتمل نظام خلايا الوقود أيضًا على دائرة بخار (5)، قادرة على إنتاج طاقة كهربائية باستخدام بخار الماء، وقناة عادم وحدة الميثنة (11) التي تشتمل على وسيلة نقل حرارة ثالثة (5a) لنقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى دائرة البخار (5) و/أو

حيث يتوافق الميثان المزوّد إلى مدخل الأنود (2e) مع الميثان المنتج في وحدة الميثنة (3) و/أو

حيث يتم ضبط محتوى تدوير الميثان داخل نظام خلايا الوقود (1) بحيث يتم استهلاك ما لا يقل عن 30%، ويفضل ما لا يقل عن 50% ويفضل أكثر ما لا يقل عن 70% من حرارة تفاعل خلايا الوقود عن طريق تفاعل إعادة التشكيل.

4. نظام خلايا الوقود (1) وفقًا لما ورد في أيٍ من عناصر الحماية السابقة، حيث تكون خلية الوقود (2) عبارة عن خلية وقود قابلة للانعكاس ويمكن تشغيلها في وضع خلية الوقود وفقًا لعناصر الحماية السابقة بالإضافة إلى وضع التحليل الكهربائي.

5. نظام خلايا الوقود (1) وفقًا لما ورد في عنصر الحماية 4، حيث تكون خلية الوقود (2) في وضع التحليل الكهربائي قادرة على تحويل خليط من الهيدروجين وبخار الماء إلى خليط أكثر ثراءً في الهيدروجين بدون وجود غازات تحتوي على الكربون.

6. طريقة لتشغيل نظام خلايا الوقود (1) وفقًا لما ورد في أيٍ من عناصر الحماية السابقة، وتشتمل الطريقة على:

أ) تغذية الهيدروجين النقي في مدخل قناة الوقود (7) بقناة الوقود (6)؛

ب) خلط الهيدروجين النقي مع عادم وحدة الميثنة في قناة عادم وحدة الميثنة (11) وتغذية الخليط الناتج إلى مدخل الأنود (2e)؛

ج) إعادة تشكيل الميثان الموجود في الخليط داخل خلية الوقود (2)؛

د) إجراء تفاعل خلية وقود في خلية الوقود (2)؛

هـ) توليد غاز الميثان من عادم الأنود في وحدة الميثنة (3)؛ و

و) إزالة الماء و/أو تكثيف الماء في عادم وحدة الميثنة،

حيث تكون كمية الميثان المنتجة في وحدة الميثنة (3) مساوية لكمية الميثان المُعاد تشكيلها داخل خلية الوقود (2) بحيث يكون محتوى تدوير الميثان عبر نظام خلايا الوقود (1) ثابتًا.

7. الطريقة وفقًا لما ورد في عنصر الحماية 6، حيث يتم التحكم في ظروف التشغيل لخلية الوقود عن طريق تعديل نسبة تدوير الهيدروجين والميثان اعتمادًا على ضغط التشغيل ودرجة الحرارة داخل خلايا الوقود على النحو التالي، بحيث لا يفضل ترسيب الكربون بشكل ديناميكي حراري حتى في حالة عدم وجود بخار الماء، حيث يوفر الاستكمال الخطي بين القيم المعطاة نموذجًا حدوديًا تقريبيًا لترسب الكربون، والذي يجب عدم تقويضه:

- الضغط الجوي، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.7$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 550 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 0.63$؛ أو
- الضغط الجوي، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 600 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو
- الضغط الجوي، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5.5$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 3$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 650 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 1.5$؛ أو
- الضغط الجوي، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 10$؛ أو
- 2 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 5$؛ أو
- 5 بار ضغط مطلق، 700 درجة مئوية، معدل الحجم $CH_4:H_2 > 2.4$.

8. الطريقة وفقًا لما ورد في عنصر الحماية 6 أو 7، تشتمل على نقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى الخليط الذي تتم تغذيته إلى مدخل الأنود (2e).

9. الطريقة وفقًا لما ورد في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 8، تشتمل على نقل الحرارة من وحدة الميثنة إلى دائرة بخار (5) لدعم إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام بخار الماء في دائرة البخار (5).

10. الطريقة وفقًا لما ورد في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 9، حيث تتم إزالة الماء أو تكثيف الماء بعد نقل الحرارة من عادم وحدة الميثنة إلى الخليط المراد تغذيته إلى مدخل الأنود (2e)، حيث يتم على وجه الخصوص التحكم في إزالة الماء أو تكثيف الماء بحيث يكون محتوى بخار الماء في الخليط عند مدخل الأنود (2e) أقل من 10% من الحجم، ويفضل أن يكون أقل من 3% من الحجم، بالنسبة لتدفق الحجم الكلي للخليط الذي يتم تزويده إلى مدخل الأنود (2e).

11. الطريقة وفقًا لما ورد في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 10، تشتمل على ضبط محتوى تدوير الميثان داخل نظام خلايا الوقود (1) بحيث يتم استهلاك ما لا يقل عن 30%، ويفضل ما لا يقل عن 50% ويفضل أكثر ما لا يقل عن 70% من حرارة تفاعل خلايا الوقود عن طريق تفاعل إعادة التشكيل.

12. الطريقة وفقًا لما ورد في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 11، تشتمل أيضًا على تدوير كمية إضافية من الهيدروجين عبر نظام خلايا الوقود، حيث لا يتم استهلاك الكمية الإضافية لتدوير الهيدروجين.

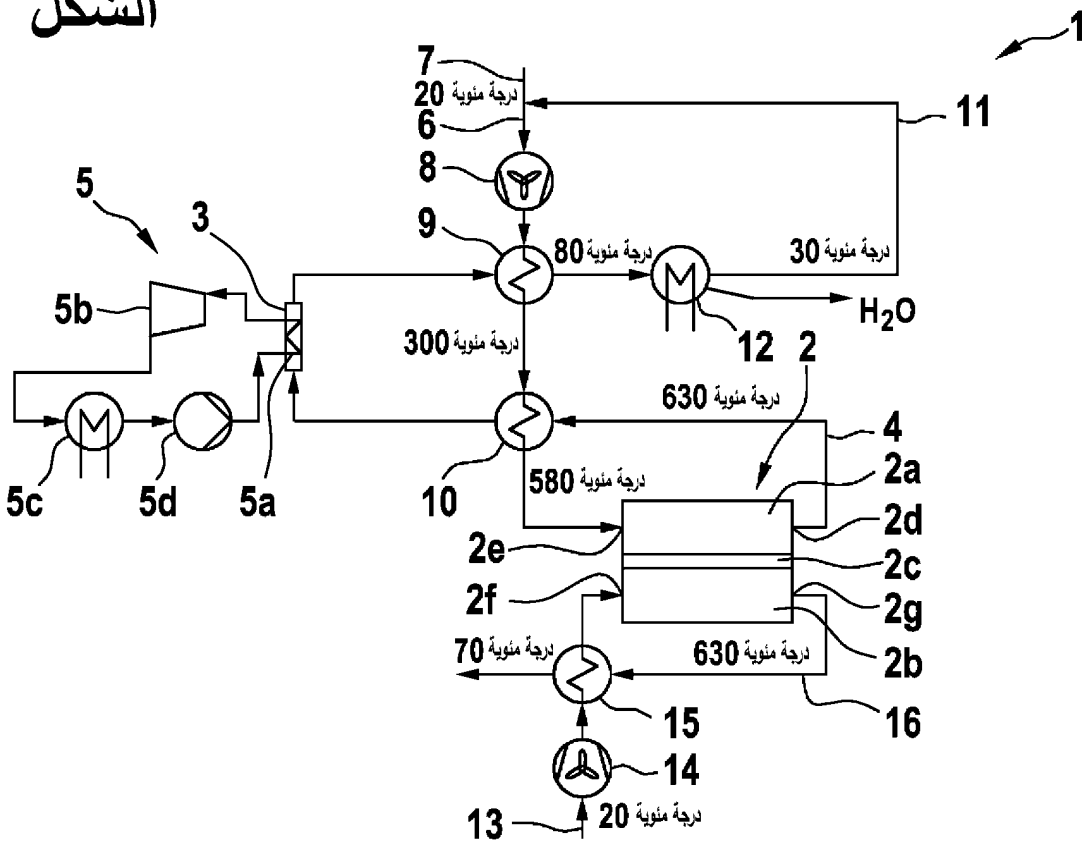
13. الطريقة الواردة في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 12، حيث يتم تعيين مجموع التيار المتدفق عبر جميع خلايا الوقود الفردية بحيث يكون مساويًا لعدد الإلكترونات المتاحة في الهيدروجين الذي تتم تغذيته في النظام عبر مدخل قناة الوقود لكل وحدة من الوقت، مطروحًا منه الهيدروجين المحتمل إهداره بسبب التسربات.

14. الطريقة الواردة في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 13، حيث عندما يتم تشغيل خلية الوقود (2) في وضع التحليل الكهربائي، يتم إنتاج الهيدروجين وتدوير الهيدروجين واختياريًا بخار الماء عبر خلية الوقود (2) أو

حيث إنه عندما يتم تشغيل خلية الوقود (2) في وضع التحليل الكهربائي، يتم إنتاج الميثان كما تتم إضافة الماء وثاني أكسيد الكربون إلى النظام بمعدل حجم $H_2O : CO_2 = 4 : 1$.

15. الطريقة الواردة في أيٍ من عناصر الحماية من 6 إلى 14، حيث عندما يتم تشغيل خلية الوقود (2) في وضع التحليل الكهربائي، توفر وحدة الميثنة بخار الماء لتفاعل التحليل الكهربائي.

الشكل 1


1
7
20 درجة مئوية
6
8
9
80 درجة مئوية
30 درجة مئوية
11
5
3
5b
H_2O
12
2
300 درجة مئوية
630 درجة مئوية
4
2a
2d
2c
2g
2b
16
15
14
20 درجة مئوية
13
70 درجة مئوية
630 درجة مئوية
580 درجة مئوية
10
2e
2f
5c
5d
5a

MA 62702A1

ROYAUME DU MAROC
OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

OMPIC

المملكة المغربية
المكتب المغربي للملكية الصناعية و التجارية

RAPPORT DE RECHERCHE AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE

(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13)

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 62702	Date de dépôt :02/03/2022 Date d'entrée en phase nationale :04/10/2023 Date de priorité: 29/04/2021
Déposant : TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN	
Intitulé de l'invention : SYSTÈME DE PILE À COMBUSTIBLE ET PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT ASSOCIÉ	

Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site http://worldwide.espacenet.com, et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.

Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :

Partie 1 : Considérations générales
- ☒ Cadre 1 : Base du présent rapport
- ☐ Cadre 2 : Priorité
- ☐ Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés

Partie 2 : Rapport de recherche

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité
- ☒ Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté
- ☐ Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention
- ☐ Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité
- ☒ Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

Examinateur: EL KINANI Mohamed	**Date d'établissement du rapport** : 13/10/2023
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	

Partie 1 : Considérations générales

Cadre 1 : base du présent rapport

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description
  13 Pages
- Revendications
  1-15
- Planches de dessin
  1 Page

Partie 2 : Rapport de recherche

Classement de l'objet de la demande :

CIB : H 01M 8/04014, H 01M 8/04119, H 01M 8/04089, C 25B 1/04
CPC : H01M 2008/1293 H01M 2250/402 H01M 8/04014 H01M 8/04097 H01M 8/04164 H01M 8/0432

Plateformes et bases de données électroniques de recherche :

EPOQUENET, WPI, ScienceDirect, IEEE, ORBIT

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X Y	KR 20120050319 A; POSTECH ACAD IND FOUND [KR] ; 18/05/2012	1-7,9-13 8,14,15
Y	US 2018115003 A1; REYTIER MAGALI [FR] ET AL ; 26/04/2018/	14,15
Y	EP 3499626 A1 ; COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR] ; 19/06/2019	8

***Catégories spéciales de documents cités :**

-« **X** » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
-« **Y** » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
-« **A** » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
-« **P** » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs
-« **E** » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité

Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté

- Remarques de clarté

La demande ne satisfait pas aux exigences de l'article 35 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, les revendications 1 et 2 n'étant pas claire.

La revendication 1 concerne un appareil, mais qui est décrit en terme d'étapes d'un procédé selon lequel ("le carburant introduit dans l'entrée de conduit de carburant (7) du conduit de carburant (6) est de l'hydrogène pur, et dans lequel le la quantité de méthane produite dans l'unité de méthanation (3) est égale à la quantité de méthane reformé à l'intérieur de la pile à combustible (2), de sorte que la teneur en méthane circulant à travers le système de pile à combustible (1) soit constante"). Cette utilisation étendue de caractéristiques de processus dans une revendication dirigée vers un appareil provoque un manque de clarté quant à la catégorie réelle de la revendication.

L'exposé de la revendication 2 relatif à la fonction « moyens pour contrôler le rapport hydrogène/méthane dans un mélange de carburant en fonction de la température et de la pression de fonctionnement de la pile à combustible, de telle sorte que le dépôt de carbone soit empêché thermodynamiquement sans la nécessité de la présence de vapeur d'eau dans le mélange de carburant, les moyens étant aptes à ajuster le rapport en fonction des valeurs suivantes et des valeurs intermédiaires par interpolation linéaire entre les valeurs données … » ne permet pas à l'homme du métier de déterminer quelles caractéristiques techniques sont nécessaires à l'exécution de la fonction indiquée.

Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

Nouveauté	Revendications 7, 8, 11, 12, 14, 15 Revendications 1-6, 9, 10, 13	Oui Non
Activité inventive	Revendications aucune Revendications 1-15	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-15 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : KR 20120050319 A
D2 : US 2018115003 A1
D3 : EP 3499626 A1

1. Nouveauté

Le document D1 décrit un système de pile à combustible (Fig. 1) comprenant une pile à combustible à reformage interne (qui peut également être une SOFC, par. 1, 29) et un réacteur de méthanation (20). L'échappement d'anode de la pile à combustible est mélangé avec de l'hydrogène (21) et est fourni au réacteur de méthanation, qui comprend une pluralité d'échangeurs de chaleur (24, 28). La chaleur générée par le réacteur de méthanation est transférée par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur (31, 33) à de la vapeur qui est dilatée dans une turbine pour générer de l'électricité (par. 39). Les gaz d'échappement du réacteur de méthanation sont introduits dans un condenseur d'eau (37) et sont mélangés avec du gaz d'appoint avant d'être renvoyés à l'anode de la pile à combustible. Le gaz d'appoint contient de l'hydrogène (par. 62). N'importe quelle SOFC est réversible en principe et peut fonctionner en mode d'électrolyse. Ainsi, le document D1 décrit toutes les caractéristiques techniques comprises dans les revendications 1 à 6, 9, 10 et 13 de la présente invention.

D'où l'objet des revendications 1 à 6, 9, 10 et 13 n'est pas considéré comme nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Aucun document de l'état de la technique mentionné ne décrit l'objet des revendications 7, 8, 11, 12, 14, 15 qui est considéré comme nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

2. Activité inventive

Le document D1 considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 7 de la présente demande divulgue un procédé de fonctionnement du système de pile à combustible tel que décrit dans la revendication 6 de la présente demande.

Par conséquent, l'objet de la revendication 7 diffère de ce procédé connu en ce que : les conditions de fonctionnement de la pile à combustible sont contrôlées en ajustant le rapport du cycle d'hydrogène et de méthane en fonction de la pression de fonctionnement et de la température à l'intérieur des piles à combustible comme suit, de telle sorte que le dépôt de carbone ne soit pas favorisé thermodynamiquement même en l'absence de vapeur d'eau.

Il est bien connu que le dépôt de carbone au niveau de l'anode d'une pile à combustible à oxyde solide est un mécanisme de dégradation bien connu. L'homme du métier sait que la formation de carbone est thermodynamiquement favorisée dans certaines conditions en fonction de la pression, température et composition du gaz d'anode. Sur la base de cette connaissance, l'homme du métier actionne le système de pile à combustible du document D1 dans des

conditions pour lesquelles la formation de carbone n'est pas favorisée sans effectuer une étape de l'invention. Pour cette raison, l'objet de la revendication 7 n'est pas considéré comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Le transfert de chaleur d'un réacteur de méthanation au mélange gazeux introduit dans l'anode d'une pile à combustible est enseigné dans le document D3 (par. 112). Ainsi, l'objet de la revendication 8 n'est pas considéré comme impliquant une activité inventive.

Les caractéristiques techniques supplémentaires spécifiées dans les revendications 11 et 12 définissent des modes de fonctionnement du système de pile à combustible du document D1 que l'homme du métier considèrerait en fonction des exigences spécifiques du système sans effectuer une activité inventive. Pour cette raison, l'objet des revendications 11 et 12 de la présente invention n'est pas considéré comme impliquant une activité inventive.

Le fonctionnement réversible d'une pile à combustible à reformage interne combinée à un réacteur de méthanation est enseigné dans le document D2. pour cette raison, L'objet des revendications 14 et 15 de la présente invention n'est pas considéré comme impliquant une activité inventive.

3. Application industrielle

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.