



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102012902072990
Data Deposito	27/07/2012
Data Pubblicazione	27/01/2014

Classifiche IPC

Titolo

**SISTEMA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA BASATO SU ELEMENTI ATTIVI
QUALI CELLE AD OSSIDI SOLIDI.**

Sistema per la produzione di energia elettrica basato su elementi attivi quali celle ad ossidi solidi

La presente invenzione riguarda la produzione di sistemi elettrochimici per l'energia basati su elementi attivi quali celle ad ossidi solidi (SOFC). In particolare, l'invenzione riguarda una soluzione innovativa per la distribuzione dei reagenti e lo scarico dei prodotti di reazione all'interno di una pila di celle a combustibile.

Le celle a combustibile ad ossidi solidi generano un flusso continuo di energia elettrica in seguito alle reazioni di ossido-riduzione di un combustibile, alimentato ad un elettrodo anodico, e un ossidante alimentato ad un elettrodo catodico (in genere aria). L'elettrolita ceramico, in genere zirconia drogata con yttria o altro ossido ceramico, trasporta ioni di ossigeno dall'elettrodo catodico a quello anodico in funzione della temperatura di funzionamento. Tale tipo di tecnologia è attualmente considerata promettente in molti settori applicativi (ad esempio nel campo della generazione distribuita di elettricità, micro-cogenerazione domestica, dispositivi portatili per la generazione di energia, unità ausiliarie) in virtù delle elevate efficienze di conversione del combustibile in elettricità e la possibilità di integrazione con altri dispositivi per la generazione di ulteriore energia elettrica sfruttando i fumi caldi (300-500 °C) che ne fuoriescono. La temperatura di funzionamento delle celle a ossidi solidi è solitamente nell'intervallo di 500-800 °C a seconda della geometria e materiali di cella utilizzati. L'elevata temperatura consente di ridurre le principali sovratensioni di cella che risultano dipendenti da fenomeni fisici termicamente attivati. Inoltre, l'elevata temperatura di funzionamento consente l'integrazione con reattori di reforming e la flessibilità all'alimentazione multi-combustibile. Infine, essa permette varie configurazioni di sistemi energetici basati su celle a combustibile a ossidi solidi quali sistemi per la cogenerazione di energia termica e calore, sistemi trigenerativi per l'ulteriore produzione di energia frigorifera, sistemi ibridi per la produzione di energia elettrica con un impianto termoelettrico in cascata.

Una tipica configurazione di una singola cella a combustibile prevede la presenza di un elettrolita solido e denso che garantisca il trasporto di ioni

ossigeno; in base allo stato dell'arte, l'ossido di zirconia stabilizzato con ossido di yttrio (YSZ) è il più utilizzato grazie alla sua stabilità chimico-fisica in atmosfere riducenti/ossidanti e l'ottima conduzione degli ioni ossigeno per temperature superiori ai 650-700°C; un materiale per il catodo che consenta la riduzione di un ossidante, sia stabile chimicamente e fisicamente con gli altri strati funzionali e le atmosfere di gas di alimento, come per esempio un manganito di lantanio dopato con stronzio (LSM); un materiale per l'anodo che consenta l'ossidazione di un combustibile che può contenere idrogeno, monossido di carbonio e idrocarburi gassosi, sia stabile chimicamente e fisicamente con gli altri strati funzionali e le atmosfere di gas di alimento, come per esempio un composto di nickel (Ni) e YSZ; un materiale di interconnessione tra celle, tipicamente costituito da un acciaio ferritico con ottime proprietà di conduzione nello stato di ossido, a contatto con le superfici degli elettrodi, che garantisca una buona connessione elettrica tra celle contigue e che favorisca il raggiungimento dell'anodo e del catodo da parte dei fluidi reagenti.

Il problema affrontato dalla presente invenzione è stato quello di come ottimizzare sia l'alimentazione del combustibile sia lo scarico dei prodotti esausti da e per una unità di generazione nella quale sono presenti una pluralità di celle organizzate secondo uno schema predefinito. Inoltre, la richiedente si è posta il problema di come organizzare una unità di generazione nella quale sono presenti una pluralità di celle. Con la seguente invenzione, è proposta una struttura integrata per l'integrazione termica e fluidica dei componenti pre-reformer, post-combustore catalitico e sezioni di pre-riscaldamento dei reagenti insieme allo stack o pila.

Un aspetto della presente invenzione riguarda un sistema per la produzione di energia elettrica basato su elementi attivi quali celle ad ossidi solidi avente le caratteristiche della allegata rivendicazione 1.

Altre caratteristiche e vantaggi dell'invenzione saranno di seguito descritti facendo riferimento ad una forma di realizzazione dell'invenzione stessa illustrata nelle allegate figure che illustrano in particolare:

- la figura 1 una sezione trasversale del sistema integrato secondo la presente invenzione;

- le figure. 2A e 2B rispettivamente un ingrandimento delle testate superiore ed inferiore del sistema integrato, con la FIG. 2A che illustra i flussi dell'alimentazione e degli esausti catodici e la FIG. 2B che illustra i flussi dell'alimentazione e degli esausti anodici,
- la figura 3 l'ordine di impaccamento dei componenti di un piano dello stack multi-cella.
- la figura 4 una sezione parziale dei piatti che compongono lo stack in cui sono evidenziati i canali di alimentazione, i fori di comunicazione e i canali di distribuzione e scarico,
- le figure 5A e 5B la circolazione del flusso catodico rispettivamente sul piatto di alimentazione e su quello di distribuzione e scarico,
- le figure 6A e 6B la circolazione del flusso anodico rispettivamente sul piatto di alimentazione e su quello di distribuzione e scarico,
- la figura 7 i dettagli di uno dei piatti costituenti l'unità di pre-reforming.
- la figura 8 i dettagli di uno dei piatti costituenti l'unità di post-combustione,
- le figure 9A, 9B e 9C la circolazione del flusso anodico rispettivamente sul piatto separatore, sul piatto di alimentazione e sul piatto di distribuzione e scarico nella rappresentazione alternativa del piano multi-cella, secondo una forma alternativa di realizzazione della presente invenzione.

Con riferimento alle citate figure il sistema per la produzione di energia elettrica secondo la presente invenzione comprende una testata superiore 2 una testata inferiore 3, tra le quali è posta una unità di generazione 4.

Tali testate superiore ed inferiore comprendono una pluralità di condotti e camere di alimentazione atti a distribuire un flusso catodico ed un flusso anodico.

Ai fini della presente invenzione per "flusso anodico" o "alimentazione anodica" si intende un qualsiasi combustibile contenente metano (per esempio, gas naturale o biogas da digestione anaerobica) o altro combustibile a base di carbonio-idrogeno-ossigeno (per esempio, propano, LPG, metanolo, etanolo, etc.) che possa essere convertito in un gas di sintesi miscelato con acqua; per

“flusso catodico” o “alimentazione catodica” si intende un comburente, ad esempio aria.

Tra la testata superiore e l'unità di generazione è presente una prima unità di scambio termico 5 (o pre-reforming) e tra la testata inferiore e l'unità di generazione è presente una seconda unità di scambio termico 6 (o post-combustore). Un condotto centrale 7 attraversa sostanzialmente tutta la struttura e mette in comunicazione le due testate e consente ai flussi catodici ed anodici di passare dalla testa superiore a quella inferiore e viceversa. Tale condotto infatti comprende un primo canale catodico 71 per il flusso catodico ed un canale anodico 72 per il flusso anodico posto all'interno di quello catodico.

Sia la prima unità di scambio termico (pre-reformer) sia la seconda (post-combustore) sono concepiti come la prosecuzione, rispettivamente verso l'alto e verso il basso, dell'unità di generazione. La prima unità comprende uno scambiatore di calore che riceve lo scarico catodico uscente da un condotto di scarico dell'unità di generazione ed il flusso fresco anodico proveniente dalla testata superiore. La seconda unità comprende un combustore che assolve anche al compito di scambiatore: infatti, esso riceve lo scarico anodico, proveniente dal relativo condotto di scarico dell'unità di generazione, che brucia con una percentuale stechiometrica del flusso catodico, che giunge invece dal condotto centrale, scaldando in questo modo il flusso restante.

La testata superiore comprende una camera di distribuzione del flusso di alimentazione anodica 21 e invio all'unità di pre-reformer, una camera per l'ingresso del flusso catodico 22 con funzione aggiuntiva di scambiatore flusso fresco/scarico catodico e una camera di espulsione 23 dello scarico catodico. La testata inferiore include invece una camera di distribuzione del flusso catodico 31 e invio al post-combustore, una camera di raccolta 32 ed espulsione dello scarico anodico e l'ingresso 33 del condotto che introduce la miscela di flusso anodico fresco all'interno del sistema integrato.

La circolazione del flusso catodico (indicata in figura 1) avviene nel modo seguente. L'alimentazione catodica entra dall'ingresso in comunicazione con lo scambiatore situato nella testata superiore. Il flusso catodico si espande all'interno della camera 22 dove viene preriscaldato dai condotti 24 nei quali scorrono gli scarichi catodici diretti verso la camera di espulsione 23,

corrispondente alla zona anulare esterna del piano superiore. Una volta occupata tutta la camera di scambio, il flusso catodico comincia a fluire verso il volume di passaggio (zona interna del piano superiore) attraverso fori di comunicazione 25. Da qui viene fatto subito confluire all'interno del tubo-tirante centrale 7 attraverso altrettanti fori 26 ricavati sulla sua parete laterale.

Entrato all'interno del condotto centrale 7, il flusso catodico lo percorre interamente fino a raggiungere l'estremità opposta, situata nella testata inferiore, venendo nel frattempo riscaldato dall'unità di generazione 4 circostante e contemporaneamente riscaldando il flusso anodico passante nel condotto interno 72 di diametro inferiore. Un turbolatore a lamina può all'occorrenza essere fissato sul condotto del flusso anodico per migliorare lo scambio termico. Al termine della discesa, l'alimentazione catodica esce attraverso altri fori 341 che lo immettono in una camera di sezione anulare 34 delimitata superiormente da un anello in tenuta e, passando per ulteriori fessure 35, giunge alla camera di distribuzione 31, dove verrà smistato verso l'unità di post-combustione. L'ingresso nei piatti di post-combustione avviene attraverso piccoli fori 36, per quanto riguarda la percentuale che deve bruciare con lo scarico anodico, e grandi fori 37 per il rimanente flusso che deve essere riscaldato. Attraversando il tratto in cui avviene lo scambio termico, il flusso catodico si dirige verso una stretta fessura anulare, interposta tra la zona centrale dei piatti e il tubo-tirante centrale, che alimenterà tutti i piani della pila soprastante. Gli scarichi catodici prodotti dalle reazioni avvenute sulle celle vengono raccolti da condotti di forma allungata 41 posizionati sul perimetro esterno dei piatti della pila. Gli scarichi si dirigono verso l'unità di pre-reforming e la percorrono radialmente fino a raggiungere i condotti che li trasporteranno verso la camera di espulsione. Questi condotti attraversano la camera di distribuzione del flusso di alimentazione anodica e la camera adibita a scambiatore interagendo termicamente con esse. Una volta giunti alla camera di espulsione 23, gli scarichi catodici vengono rimossi dal sistema integrato tramite il condotto di uscita.

Il percorso compiuto dal flusso anodico è il seguente. Il flusso di alimentazione anodica (vedi in figura 1 le frecce corrispondenti) entra nel sistema perpendicolarmente rispetto alla testata inferiore per mezzo di un sottile

condotto 33. Il flusso passa poi attraverso una camera di vaporizzazione 39 che permette la nebulizzazione completa della quantità di acqua presente al suo interno, grazie al calore ceduto dalla camera di raccolta ed espulsione dei fumi anodici di combustione circostante. La dose di acqua che viene aggiunta è tale da evitare miscele che possano determinare fenomeni di "carbon deposition" durante le reazioni che avvengono nell'unità di generazione. Successivamente, il piccolo condotto si inserisce all'interno del condotto centrale 7 e lo percorre per tutta la sua lunghezza giungendo fino alla sommità della testata superiore. All'interno di questo tratto, si verificano fenomeni di scambio termico a causa del contemporaneo passaggio, in direzione controcorrente, del flusso catodico. A questo punto, il flusso anodico, leggermente riscaldato anche dall'attraversamento dell'unità di pre-reforming, esce fuori dal sistema e passa attraverso un miscelatore esterno 8 che garantisce un rifornimento aggiuntivo di acqua al flusso anodico in caso di carenza durante il funzionamento del dispositivo. Il miscelatore 8 può essere anche utilizzato per introdurre acqua con lo scopo di produrre vapore inertizzante in caso di rottura o sovratemperatura. L'alimentazione anodica rientra nuovamente nel sistema attraverso l'ingresso 29 e si dirige direttamente nella camera di distribuzione 21 del combustibile. Da qui il flusso di alimentazione anodica si sposta verso l'unità di pre-reforming sottostante attraverso passaggi 28 ricavati sulla base inferiore. Il flusso anodico attraversa radialmente l'unità di pre-reforming dirigendosi verso i condotti di alimentazione 42 dell'unità di generazione 4. Durante il passaggio avviene uno scambio termico con i flussi catodici che scorrono in verso opposto, dalla periferia al centro, diretti alla testata superiore. Gli scarichi anodici prodotti all'interno dell'unità di generazione 4, confluiscono in condotti di scarico dai quali verranno, in seguito, trasportati verso l'unità di post-combustione. I fumi prodotti dalla combustione degli scarichi anodici, con la frazione molare di alimentazione catodica entrante, attraversano la camera di distribuzione del flusso catodico 31 passando per il condotto che li porterà alla camera di raccolta scarichi 32 dalla quale verranno espulsi tramite un condotto di uscita.

L'unità di generazione 4 secondo la presente invenzione comprende una pluralità di celle a combustibile ad ossidi solidi che generano un flusso continuo

di energia elettrica in seguito alle reazioni di ossido-riduzione di un combustibile, alimentato ad un elettrodo anodico, e un ossidante alimentato ad un elettrodo catodico. Tali celle sono organizzate su piani P sovrapposti e su ogni piano P sono previste preferibilmente una pluralità di celle, ad esempio sei posizionate secondo una distribuzione di forma circolare e tra di esse viene stabilita una connessione in parallelo. Le celle sono chiuse ai lati da due gruppi di piatti metallici, che regolano la circolazione dei diversi flussi reagenti e permettono di instaurare tra i diversi piani una connessione elettrica in serie. Alle estremità dell'unità nel suo complesso composta da una pluralità di piani sovrapposti, sono posizionati due collettori rispettivamente per la corrente anodica 43 e quella catodica 44.

Infine, l'intera pila di piani viene isolata elettricamente dal resto del sistema posizionando al di sopra di ciascun collettore un piatto isolante 45. Preferibilmente, i piani sono orientati in modo tale che il catodo di ogni cella sia rivolto verso il basso.

Il numero di celle in ogni piano può essere scelto a piacere, ma vantaggiosamente utilizzando un numero pari di celle, qualunque esso sia, si realizza una geometria simmetrica, il che rende vantaggiosa la distribuzione dei flussi.

Considerando per primo il lato catodico e scorrendo dal basso verso l'alto, è possibile notare un piatto di alimentazione AC, un piatto di distribuzione e raccolta scarichi DC e un piatto per il contenimento CC di reti metalliche R aventi lo scopo di permettere una migliore espansione e omogeneità del flusso diretto alle diverse celle C. Con l'ausilio della FIG. 4 è possibile vedere la sezione di un piano assemblato. Il piatto di alimentazione possiede un insieme di canaletti ACC la cui profondità è pari allo spessore totale del piatto. Come si può vedere nella FIG. 5A, il reticolo di canaletti è formato anche da nervature secondarie trasversali ACN, con profondità pari a metà di quella del piatto, che collegano tra loro i canaletti principali.

La sezione dei canaletti è mantenuta costante per tutta la loro estensione e nel complesso sono organizzati in modo tale da riprodurre esattamente la forma delle celle.

In particolare, tali canaletti sono disposti longitudinalmente l'uno all'altro, dei quali i più esterni sono leggermente arcuati, in modo che il reticolo assuma una particolare forma che ricopia la forma della cella soprastante. In questo reticolo di canaletti il flusso fresco entrante si distribuisce in maniera uniforme prima di dirigersi verso il piatto di distribuzione DC mostrato nella FIG. 5B. Il passaggio avviene attraverso una serie di fori DCF, presenti in numero variabile, ricavati nel piatto di distribuzione e raccolta scarichi e collocati esattamente in corrispondenza delle intersezioni del reticolo del piatto di alimentazione sottostante ed eventualmente sull'apice delle diramazioni principali ACC. Tra le due estremità dei fori si crea un leggero gradiente di pressione che imprime una leggera accelerazione al flusso che li attraversa garantendo in questo modo il raggiungimento della cella da parte del getto uscente da essi.

Nel piatto di distribuzione DC viene riproposta la stessa geometria a canaletti longitudinali: si tratta di solchi DCC profondi la metà dello spessore del piatto, interposti ai fori di alimentazione e adibiti alla raccolta e allo smaltimento degli scarichi prodotti. Tra le celle e il piatto di distribuzione DC sono presenti reti metalliche R, ciascuna posizionata esattamente al di sotto di una cella del piano e possedente la sua stessa area superficiale, ospitate all'interno degli alloggiamenti presenti nel piatto di contenimento CC.

La trama della rete R è stata scelta con una tessitura e sezione di passaggio tali da allargare di molto il diametro del getto uscente da ciascun foro, in modo che la distribuzione complessiva del flusso su tutta la superficie dell'elettrodo corrispondente sia la più omogenea possibile. Inoltre, la rete agisce sia da ottimo scambiatore di calore, permettendo al flusso di raggiungere le temperature di lavoro adeguate prima di entrare in contatto con la cella, sia da buon conduttore elettrico, generando delle basse resistenze di contatto sia al catodo della cella che sul piatto di distribuzione e raccolta scarichi.

Il gruppo di piatti appartenenti al lato anodico è del tutto analogo a quello catodico ma invertito di ordine. L'analogia permane anche nell'assemblaggio dei piatti e nella distribuzione dei canaletti sui piatti di alimentazione AA e di distribuzione e scarico DA, come mostrato nelle FIGG. 6A e 6B. Il piatto di alimentazione anodico, AA e conseguentemente i canaletti AAC ricavati in

esso, sono stati realizzati con uno spessore inferiore rispetto al lato catodico in funzione della minor portata del flusso anodico.

Tra il comparto anodico e quello catodico sono inseriti tre piatti due di contenimento reti CC ed un piatto isolante PI. I piatti di contenimento reti hanno la funzionalità di contenimento delle reti, mentre il piatto isolante, di materiale dielettrico, ha la funzionalità di contenere le celle e garantisce l'isolamento elettrico tra celle contigue e impedisce il passaggio dei gas da un elettrodo all'altro evitando in questo modo miscele che possano generare malfunzionamenti all'intero dispositivo.

Infine, il lato catodico di ogni piano viene separato dal lato anodico del piano successivo tramite un piatto separatore metallico PS, molto sottile, che costituisce il fondo dei due piatti di alimentazione adiacenti. Una possibile configurazione alternativa prevede la sostituzione dei due piatti di alimentazione anodico e catodico e del piatto separatore con un unico piatto bipolare.

Le FIGG. 5A e 5B mostrano nel dettaglio la disposizione delle superfici superiori dei due piatti che formano le coppie relative ai lati catodici delle celle di ciascun piano. La FIG. 5A si riferisce in particolar modo al piatto di alimentazione AC del flusso catodico, mentre la FIG. 5B mostra il piatto di distribuzione DC del flusso fresco e di raccolta del prodotto di scarico. Il flusso catodico giunge da una stretta fessura anulare presente tra il tubo-tirante centrale 7 e il piatto stesso e si diffonde nella rete di canaletti ACC di alimentazione attraversando una zona di collegamento ricavata anch'essa nel piatto e avente la loro stessa profondità. Successivamente il flusso, attraverso il sistema di fori DCF, passa nel piatto superiore di distribuzione DC dal quale raggiunge il catodo e viene coinvolto nelle reazioni che permettono la produzione di corrente elettrica. I prodotti ottenuti dalle reazioni avvenute vanno a depositarsi nei canali di raccolta DCC e scarico, mentre flusso fresco sale dai canali di distribuzione e si dirige verso la cella rimpiazzando quello precedente in una sorta di moto convettivo. Lo scarico catodico viene trasportato dagli appositi canali verso delle aperture ASC situate dalla parte opposta dell'ingresso, sul bordo esterno del piatto, che rappresentano i condotti di scarico.

Per quanto concerne il lato anodico, la dinamica degli eventi è la stessa rispetto a quanto descritto per il lato catodico con l'unica differenza della diversa

ubicazione degli ingressi e delle uscite del flusso anodico. Le FIGG. 6A e 6B mostrano che il flusso giunge nel piatto di alimentazione attraverso condotti di forma circolare AAF collocati sul bordo esterno del piatto e intervallati da altrettanti condotti ASA adibiti alla raccolta degli scarichi anodici. Ciascun condotto fornisce la quantità di alimentazione anodica necessaria per il funzionamento di due celle. Il flusso anodico viene immesso in un ampio canale iniziale la cui profondità, pari allo spessore del piatto, è preferibilmente la stessa dei canaletti e che viene successivamente diviso in due parti da una linguetta LA che separa i flussi destinati alle due celle adiacenti. Analogamente, nel piatto di distribuzione DA e raccolta degli scarichi ogni condotto raccoglie gli scarichi di due celle. Anche in questo caso, infine, i condotti adibiti alla raccolta degli scarichi si trovano nella posizione opposta rispetto a quelli di alimentazione.

In questo modo la fase di alimentazione delle celle appartenenti a ciascun piano dell'unità 4, lato anodico e catodico, è ottenuta attraverso un sistema di canali che rende la distribuzione dei flussi sulla superficie della cella omogenea. La circolazione dei gas ottenuta in fase di alimentazione, lato anodico e catodico, permette di avere un profilo di temperatura sulla superficie di ciascuna cella sostanzialmente uniforme.

La fase di raccolta e scarico dei prodotti generati dalle reazioni avvenute sulle celle di ciascun piano, lato anodico e catodico, avviene separatamente rispetto alla fase di alimentazione.

In una rappresentazione alternativa del piano multi-cella, le celle giacenti sullo stesso piano lavorano in serie. In particolare, ogni cella viene alimentata da una miscela anodica composta in parte da carburante fresco proveniente dallo stack o pila e per la restante parte da una percentuale degli esausti anodici prodotti dalla cella antecedente. Pertanto, quando la pila è operativa, su ogni piano appartenente ad esso si viene a formare un ricircolo in cui parte dell'alimentazione di ogni cella viene fornita dalla cella che viene immediatamente prima. Le percentuali con le quali i flussi coinvolti partecipano alla miscela di alimentazione dipendono dai parametri di lavoro, ovvero Fuel Utilisation e rapporto steam-to-carbon, con i quali si decide di far operare ogni singola cella e vengono determinate dalle dimensioni dei vari condotti di

alimentazione. Per questa rappresentazione è stato scelto di mantenere i parametri in questione costanti per tutte le celle giacenti sullo stesso piano. Le FIGG. 9A, 9B e 9C mostrano i piatti che compongono il lato anodico di questa rappresentazione alternativa, mentre per quanto riguarda il lato catodico non è prevista nessuna modifica rispetto ai piatti mostrati nelle FIGG. 6A e 6B. In particolare, la FIG. 9A presenta il piatto separatore metallico PS che separa i piatti di alimentazione, anodico e catodico, di due piani consecutivi.

Il flusso anodico fresco giunge attraverso il condotto di destra CD di ciascuna coppia presente sul bordo esterno del piatto. Esso percorre un breve canale CS scavato sul piatto metallico per poi immettersi nel passaggio che lo condurrà al piatto di alimentazione sottostante, visibile in FIG. 9B. A questo punto, il carburante di alimentazione fresco scorre attraverso un canale convergente/divergente CDC con profondità pari a metà di quella del piatto ospitante. Ai capi di questo canale si viene a creare una differenza di pressione che accelera il flusso entrante in direzione del reticolo di canali situato frontalmente. Durante il transito all'interno di questo canale, il carburante fresco entra in contatto, miscelandosi, con una parte degli scarichi anodici prodotti dalla cella che occupa la posizione antecedente. Gli scarichi, contenenti anche la percentuale di carburante che non ha partecipato alle reazioni avvenute nella cella precedente per via della Fuel Utilisation impostata, provengono dal piatto di distribuzione e raccolta degli scarichi mostrato in FIG. 9C. Essi, una volta raccolti dagli appositi canali, si muovono verso il condotto a forma di corona circolare troncata ASA per poi diffondersi nel corrispondente canale presente nel piatto di alimentazione e scavato per una profondità pari alla sua metà. Da qui confluiscono nel canale convergente/divergente, dove si misceleranno con il flusso di carburante fresco e si dirigeranno verso la zona di distribuzione adiacente, attraverso due condotti laterali CLS scavati a mezza profondità. Grazie alla differenza di pressione generata dal canale convergente/divergente, gli scarichi anodici sono attirati verso la direzione esatta e non vi è il rischio di eventuali risucchi, anche dello stesso carburante fresco, che possano in qualche modo creare problemi di funzionamento allo stack o pila. Le dimensioni dei due condotti laterali vengono determinate in base alla portata dello scarico della cella precedente che si vuole riutilizzare. È importante che il miscelamento

avvenga prima della diffusione all'interno del reticolo di canali per evitare che si crei disomogeneità spaziale di composizione dell'alimentazione dovuta alla diversa natura dei due flussi che partecipano. Infine, è necessario evitare che con il passare del tempo si possa generare un eccessivo accumulo di acqua all'interno del piatto a causa del ricircolo che si è instaurato. Per questo motivo, una parte degli scarichi anodici prodotti da ciascuna cella, contenenti un significativa percentuale di acqua, vengono espulsi dalla pila attraverso dei piccoli condotti CEPS situati a fianco delle corone circolari troncate e messi in comunicazione con esse tramite dei brevi condotti con profondità pari a quella del piatto. Questo tipo di configurazione permette di avere, per ciascun piano della pila, valori complessivi di Fuel Utilisation e del rapporto steam-to-carbon inferiori a quelli associati ad ogni singola cella. In questa rappresentazione alternativa, ciascun piano può ospitare un numero qualsiasi di celle poiché ognuna di esse viene alimentata in maniera indipendente dalle altre, eliminando pertanto qualunque vincolo sulla geometria dei piatti.

Sulla sommità dell'unità di generazione 4 formata preferibilmente da più piani, è posizionata una prima unità di scambio termico 5 (o pre-reforming), adibita al processo di pre-reforming del flusso di alimentazione anodica. Questo processo consiste nella decomposizione degli idrocarburi pesanti, presenti nel combustibile utilizzato per il sistema. In generale, all'uscita del pre-reformer si troverà una miscela ricca in metano e vapore e in minor misura idrogeno, monossido di carbonio e anidride carbonica. La quantità di acqua è tale da evitare depositi di carbonio nei condotti di adduzione della miscela combustibile alle celle e nelle celle stesse.

Facendo riferimento alla FIG. 7, l'unità di pre-reforming è realizzata da un impilamento di piatti PR uguali tra loro, le cui dimensioni sono le stesse dei piatti di alimentazione di distribuzione e quelli che contengono le celle di ogni piano e ne costituisce, pertanto, un prolungamento lungo la direzione verticale.

Il numero di piatti che andranno a comporre quest'unità dipenderà fortemente dal tipo di combustibile immesso all'interno del sistema e dalla difficoltà di ricondurlo ad una miscela direttamente alimentabile alle celle. La modulazione di questa unità in termini di combustibile introdotto può essere ottenuta anche

andando ad agire sul tipo di catalizzatore depositato nelle zone in cui hanno luogo le reazioni di pre-reforming.

Siccome il processo di pre-reforming è molto endotermico, il calore necessario alla sua attivazione viene prelevato dallo scarico catodico in arrivo dall'unità di generazione 4. Per questo motivo, ciascun piatto dell'unità di pre-reforming è realizzato in modo tale da avere scambiatori di calore controcorrente S, ognuno dei quali è composto da due canali SC per il passaggio dello scarico catodico inframmezzati da una sezione di forma ovale SO, dove avvengono le reazioni di pre-reforming. Ogni elemento è stato ottenuto incidendo il piatto di appartenenza per una profondità preferibilmente pari alla metà del suo spessore complessivo. Il flusso di alimentazione giunge da piccoli fori situati nella parte interna del piatto e scorre verso i fori di alimentazione anodica AAF che si trovano frontalmente rispetto ai primi e che successivamente lo distribuiranno ai diversi piani multi-cella sottostanti. Il percorso si sviluppa attraverso una rete catalitica RC posizionata all'interno di ciascuna sezione con lo scopo di favorire le reazioni di pre-reforming. Contemporaneamente, lo scarico catodico proveniente dall'unità entra attraverso il condotto di raccolta ASC e scorre verso il centro del piatto in direzione opposta a quella del flusso anodico. Una volta compiuto il tragitto, lo scarico si immetterà nel condotto che lo porterà verso il piatto di raccolta degli scarichi catodici, posto all'interno della testata superiore, per poi essere espulso definitivamente dal sistema integrato. Per massimizzare lo scambio di calore tra i due flussi presenti, i canali dove scorre lo scarico catodico sono stati disseminati di piccoli cilindretti con lo scopo di aumentare la superficie di contatto.

Sull'estremità inferiore dell'unità di generazione 4 è posizionata una seconda unità di scambio termico 6 (post-combustore) dedicata alla combustione dello scarico anodico con una piccola frazione molare prelevata dal flusso fresco catodico proveniente dal tubo-tirante centrale 7.

L'unità 6 comprende una serie di piatti PC il cui design è mostrato in FIG. 8. Come nel caso del pre-reformer, la dimensione dei piatti è la medesima di quella dei piatti che compongono l'unità di generazione, ed infatti essa ne rappresenta il prolungamento verso il basso. La reazione produce principalmente anidride carbonica e acqua, mentre la sua natura fortemente

esotermica favorisce la generazione di una quantità di calore molto elevata che viene utilizzata per il riscaldamento del flusso d'aria destinato successivamente all'ingresso nell'unità di generazione 4.

Per sfruttare al meglio il calore prodotto dalla reazione, sul piatto vengono alternate sezioni di combustione con canali per il passaggio del flusso che deve essere riscaldato, il tutto realizzato sempre con una profondità preferibilmente pari alla metà dello spessore del piatto. Lo scarico anodico entra nella sezione di combustione attraverso il condotto di scarico ASA dell'unità di generazione 4 e si propaga attraverso una rete catalitica RC inserita per favorire la reazione di combustione. Il flusso catodico proveniente dal condotto centrale 7 viene scisso in due flussi le cui portate sono determinate dai differenti diametri dei fori. Nei fori piccoli FP entra la frazione molare necessaria per attivare il processo di combustione, mentre in quelli più grandi FG confluisce il flusso che verrà scaldato. I prodotti della combustione defluiscono nel condotto FE che li condurrà verso il piatto di espulsione degli scarichi posto nella testata inferiore. Il flusso che deve essere scaldato si muove lungo una direzione radiale rispetto al centro di simmetria spostandosi dagli ingressi posti sul bordo esterno del piatto fino alla sua estremità interna, dove si immetterà nella sottile sezione anulare che conduce ai diversi piani dell'unità di generazione 4. Vantaggiosamente, come per l'unità 5, o pre-reformer, i canali di transito dell'alimentazione catodica sono cosparsi di piccoli cilindretti per aumentare l'interazione termica con le adiacenti sezioni di combustione.

I percorsi dei fluidi reagenti sono stati organizzati in modo tale da massimizzare gli scambi di calore tra i flussi degli scarichi ad alta temperatura che devono essere espulsi dal sistema e i flussi freschi a bassa temperatura che invece si dirigono verso l'unità di generazione 4 dove hanno luogo le reazioni previste.

Gli scarichi anodici e catodici prodotti seguono due percorsi separati per uno sfruttamento più proficuo del loro potere calorifico.

I piatti che compongono le unità centrali del sistema sin qui descritto non vengono sottoposti a nessun tipo di saldatura. Facendo riferimento alla FIG. 1, la perfetta aderenza e compattezza delle parti viene garantita attraverso la pressione esercitata sul dispositivo dalle testate superiore ed inferiore, le quali vengono raccordate tramite il condotto centrale che funge anche da tubo-tirante

centrale. Il serraggio è completato sulla testata inferiore con l'applicazione di piastre di contrasto P1 e P2 su cui premono delle molle a tazza MT, il tutto chiuso con una vite con dado D. All'interno delle piastre di contrasto è inserita un'ulteriore tenuta T, realizzata con gomma resistente alle alte temperature, che impedisce che il flusso catodico possa fuoriuscire dalla testata inferiore.

La testata superiore è composta da tre camere cilindriche 21, 22 e 23, di cui quella superiore, a cui è saldato il tubo-tirante, ha dimensioni minori rispetto ai piatti del blocco centrale, mentre le rimanenti hanno dimensioni maggiori. La FIG. 2A mostra l'ordine con cui vengono assemblati i tre blocchi. La camera inferiore 21 è adibita alla distribuzione del flusso anodico verso l'unità di pre-reforming situata al di sotto di essa. Il flusso in entrata deve compiere un primo tratto a spirale che rallenta la sua espansione all'interno del volume a disposizione, permettendo così lo scambio termico con i condotti dello scarico catodico che attraversano la camera diretti verso la camera di espulsione. In alternativa all'ingresso a spirale, si può inserire una griglia circolare dotata di fori di piccole dimensioni, nella zona esterna della camera creando in questo modo una zona preliminare dove il flusso anodico si distribuisce in maniera omogenea prima di espandersi verso la zona centrale dove sono presenti i passaggi, anch'essi di dimensioni ridotte, che comunicano con la sezione di pre-reforming. La camera superiore 22, invece, contiene solamente i condotti provenienti dall'unità di generazione 4, che sono realizzati tramite la sovrapposizione di piatti cilindrici ed ellittici. Anche in questo caso è possibile introdurre una griglia circolare nella zona esterna della camera in modo da uniformare il flusso catodico prima del suo ingresso nella zona di scambio termico. Infine, l'ultima camera 23 comprende due zone separate da una parete circolare: la zona più esterna di forma anulare raccoglie gli scarichi catodici provenienti dall'unità 4 e li espelle dal sistema; la zona più interna funge da passaggio per il flusso catodico, prima della sua immissione nel tubo-tirante centrale, permettendo in questo modo anche un ultimo scambio termico tra i diversi flussi in movimento.

La testata inferiore comprende due camere cilindriche 31 e 32 aventi dimensioni maggiori dei piatti dell'unità 4. Facendo riferimento alla FIG. 2B, la camera di distribuzione 31 riceve il flusso catodico proveniente dal tubo-tirante

centrale e lo smista verso l'unità di post-combustione. Prima di raggiungere il vero e proprio sito di smistamento, il flusso catodico attraversa un primo volume di sezione anulare 34 realizzato per evitare la possibile generazione di attriti tra la camera di distribuzione e il tubo a causa di possibili dilatazioni termiche da parte dei componenti della testata inferiore. Questo volume iniziale è separato dal restante volume grazie a una parete nervata dotata di passaggi 35 per il flusso collocati in perfetta corrispondenza con quelli presenti sul tubo-tirante 341. Inoltre, grazie alla presenza delle nervature 342 in direzione radiale, la parete provvede a conferire rigidità alla struttura della camera di distribuzione che è sottoposta al carico esercitato dal dado avvitato sulla parte terminale del tubo tirante mediante le molle a tazza. Al di sopra della sezione anulare è posto un anello di tenuta che garantisce la separazione tra il flusso fresco entrante nella camera di distribuzione e quello più caldo uscente dall'unità di post-combustione che andrà ad alimentare la sezione catodica dell'unità 4. La camera inferiore 32 dispone di un volume vuoto, ad eccezione per la parete nervata con funzionalità analoghe a quelle del piano superiore, completamente dedicato alla raccolta dei fumi anodici provenienti dall'unità di post-combustione e alla loro espulsione.

Il condotto centrale 7, che è possibile osservare in FIG.1, ha una doppia funzione. Innanzitutto assume il ruolo di tirante interno, fungendo da raccordo tra le due testate. Questa mansione viene portata a termine anche grazie alle pareti interne delle due testate che, oltre ad avere un ruolo di contenimento, conferiscono rigidità all'intero sistema. La posizione del tubo, inoltre, permette al flusso catodico che vi scorre all'interno di avere scambi termici sia con l'unità di generazione 4 che con il flusso anodico passante per il condotto di dimensioni inferiori 72 contenuto al suo interno. Eventuali tratti non lineari, realizzabili con curvature 721 del tubo stesso, aumentano il tempo di permanenza del flusso anodico nel tratto centrale con conseguente incremento del tempo di interazione termica. In una realizzazione alternativa del dispositivo è anche possibile pensare di modificare la superficie della parete esterna o interna del condotto tramite l'introduzione di turbolatori a lamina o componenti alettate, con lo scopo di massimizzare la superficie di scambio.

Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Sistema per la produzione di energia elettrica basato su elementi attivi quali celle ad ossidi solidi in cui in seguito alle reazioni di ossido-riduzione di un combustibile, alimentato ad un elettrodo anodico di tali celle ed un ossidante alimentato ad un elettrodo catodico di tali celle, si genera un flusso continuo di energia elettrica ai capi di tali elettrodi,

caratterizzato dal fatto di comprendere

- una testata superiore (2) ed una testata inferiore (3) tra le quali è posta una unità di generazione (4) di energia elettrica nella quale sono ospitate tali celle,
- tali testate superiore ed inferiore comprendendo una pluralità di condotti e camere di alimentazione e distribuzione atti a alimentare e distribuire un flusso catodico comburente ed un flusso anodico combustibile in direzione di tali elettrodi,
- tra la testata superiore e l'unità di generazione è presente una prima unità di scambio termico (5) o "pre-reforming" e tra la testata inferiore e l'unità di generazione è presente una seconda unità di scambio termico (6) o "post-combustore"
- un condotto centrale (7) attraversando sostanzialmente tutta l'unità di generazione, mettendo in comunicazione le due testate e consentendo ai flussi catodici ed anodici di passare dalla testa superiore a quella inferiore e viceversa.

2. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui il flusso anodico combustibile contiene preferibilmente metano (per esempio, gas naturale e biogas) ed il flusso catodico comburente è aria.

3. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui tale combustibile è un gas naturale o biogas da digestione anaerobica o altro combustibile a base di carbonio-idrogeno-ossigeno (e.g., propano, LPG, metanolo, etanolo, etc.) che possa essere reformato in un gas di sintesi adatto ad essere alimentato direttamente alle celle.

4. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui le unità di pre-reforming e di post-combustione sono realizzate come scambiatori termici, che interagiscono

in direzione orizzontale con dimensioni analoghe a quelle dell'unità di generazione della quale risultano i prolungamenti in direzione assiale.

5. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui tale unità di pre-reforming comprende una pluralità di piatti impilati (PR) uguali tra loro, le cui dimensioni sono le stesse dei piatti di alimentazione e di distribuzione delle celle e ne costituisce, pertanto, un prolungamento lungo la direzione verticale.

6. Sistema secondo la rivendicazione 5, in cui il numero di piatti che andranno a comporre tale unità e il tipo di catalizzatore deposto all'interno delle zone in cui hanno luogo le reazioni di pre-reforming dipendono dal combustibile immesso all'interno del sistema.

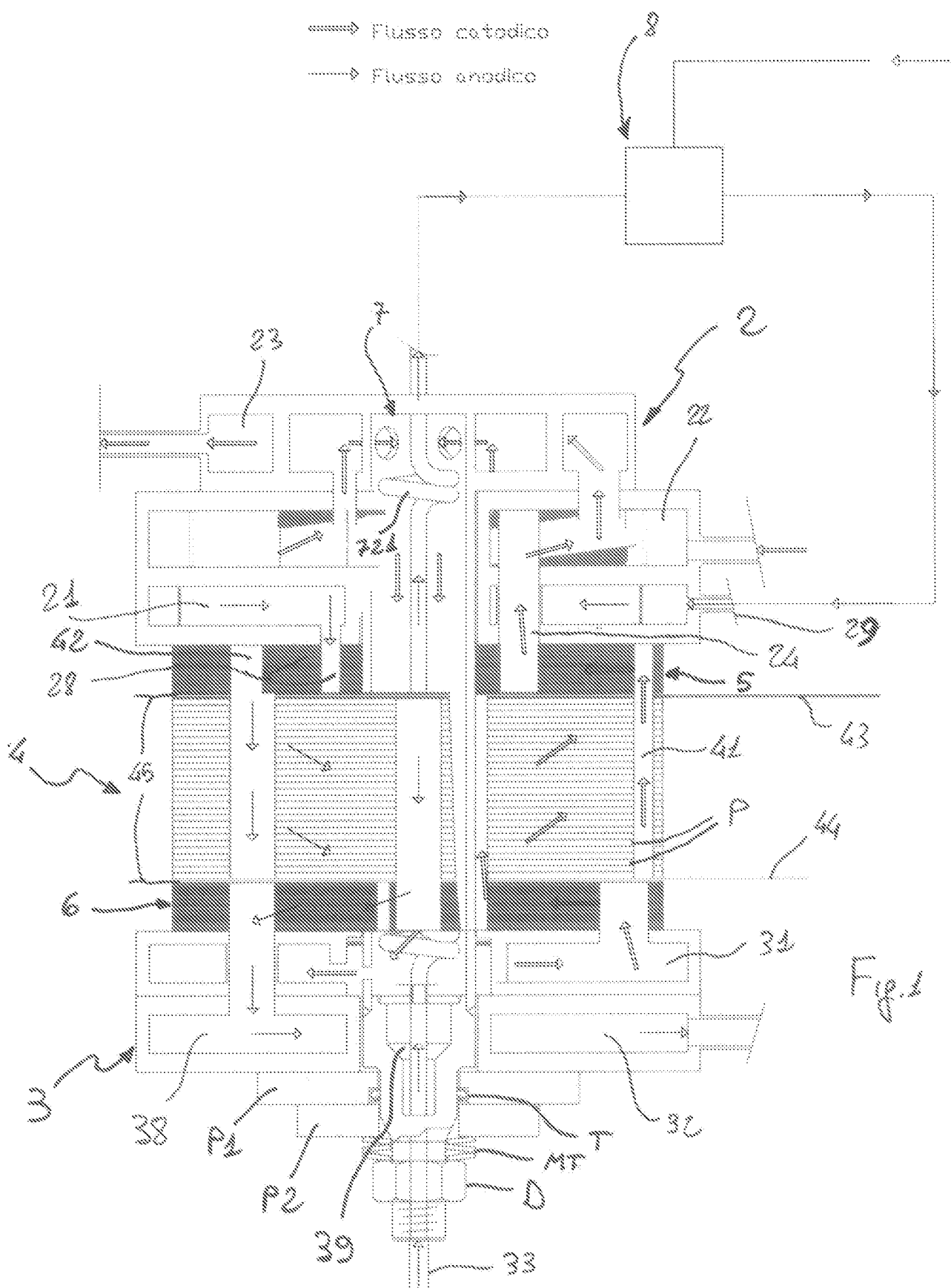
7. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui l'impaccamento del sistema integrato viene realizzato tramite il condotto centrale (7) che, oltre a trasportare i fluidi reagenti, ricopre la funzione di tirante agganciandosi alle due testate e facendo in modo che esse premiano sul nucleo centrale del sistema.

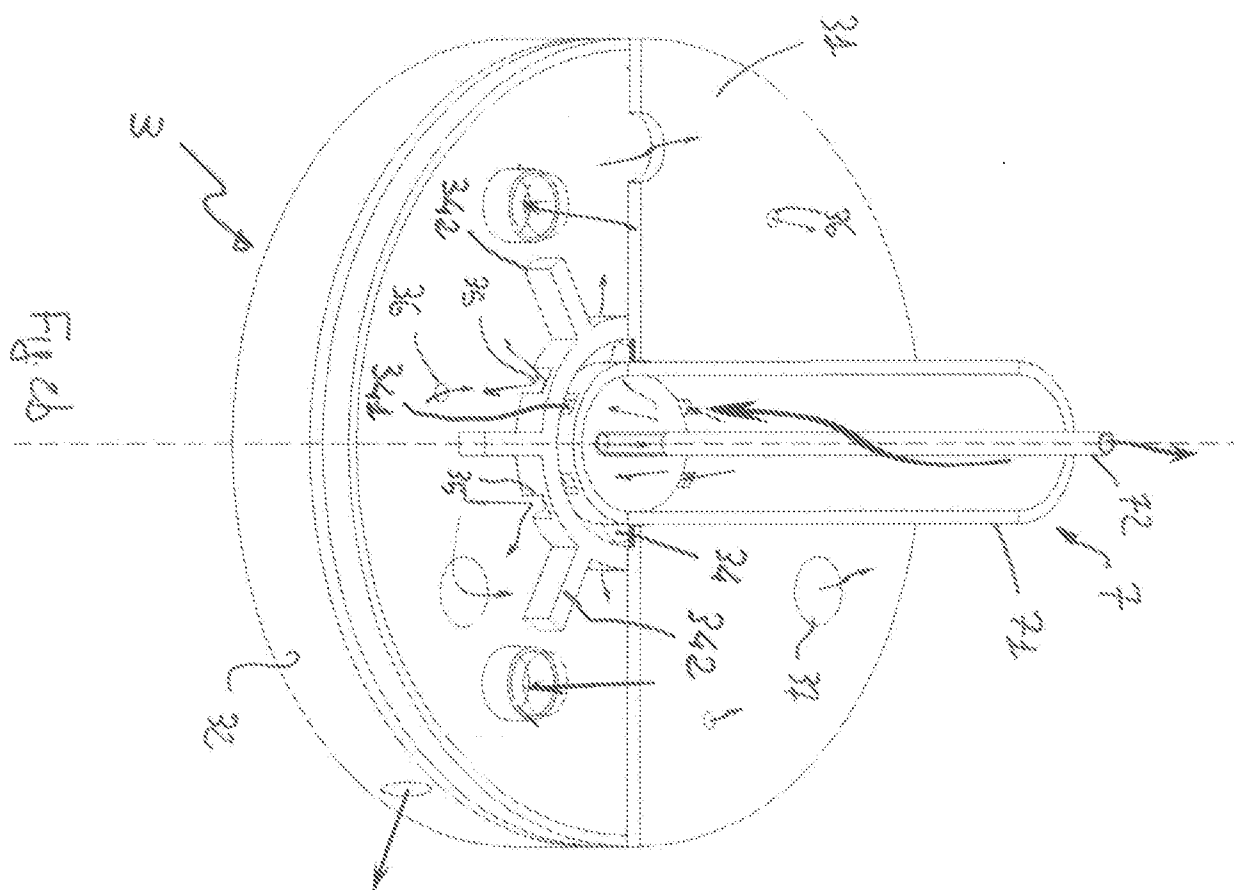
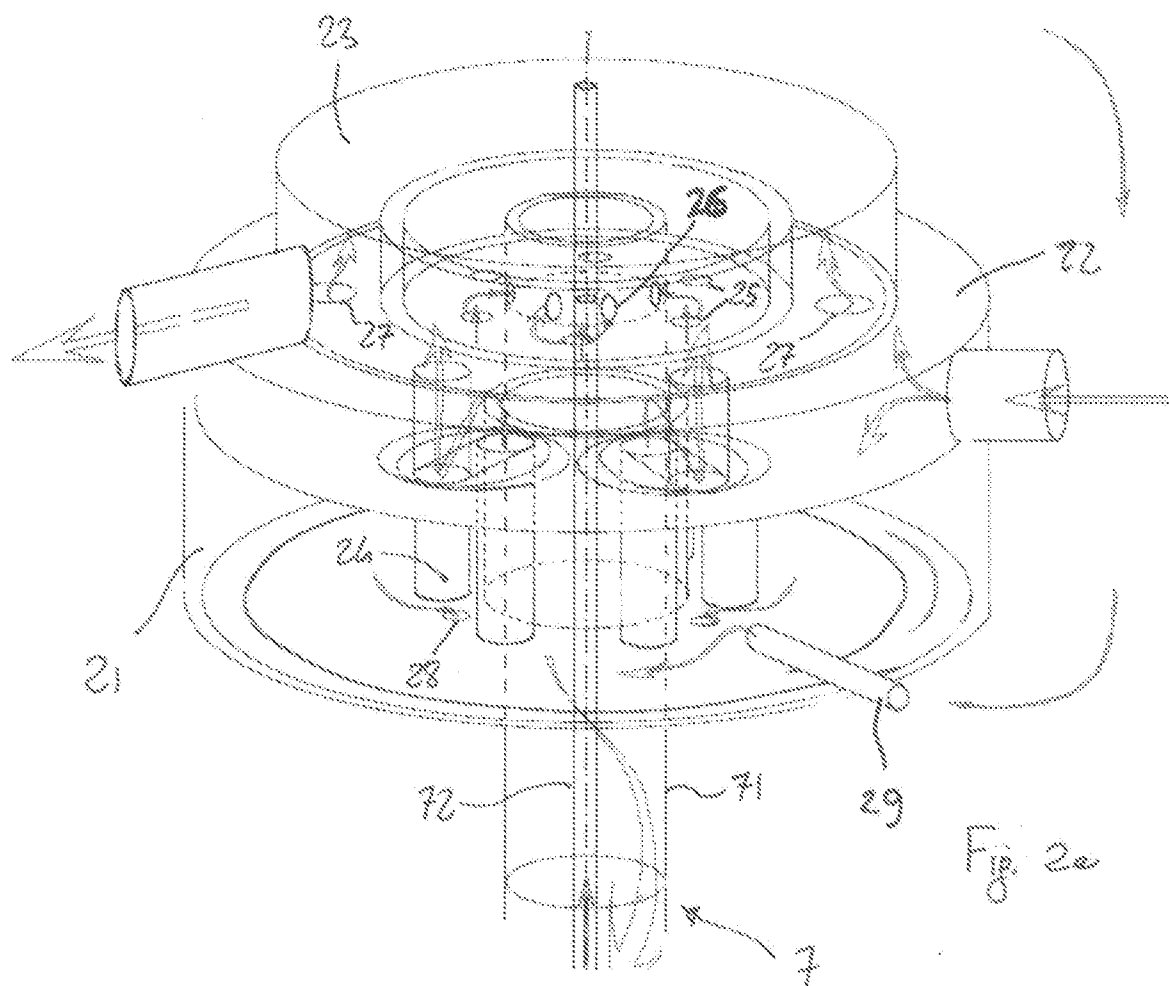
8. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui le due testate poste alle estremità del sistema integrato producono la pressione necessaria per l'impaccamento e la sigillatura dei piatti del pre-reformer (PR), del post-combustore (PC) e dell'unità di generazione (4).

9. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui i percorsi dei fluidi reagenti sono organizzati in modo tale da massimizzare gli scambi di calore tra i flussi degli esausti ad alta temperatura che devono essere espulsi dal sistema e i flussi freschi a bassa temperatura che invece si dirigono verso l'unità di generazione (4) dove hanno luogo le reazioni previste.

10. Sistema secondo la rivendicazione 1, in cui gli esausti anodici e catodici prodotti seguono due percorsi separati per uno sfruttamento più proficuo del loro potere calorifico.

Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.





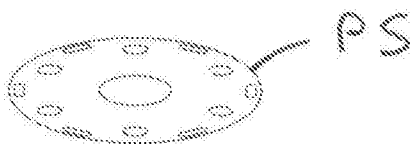
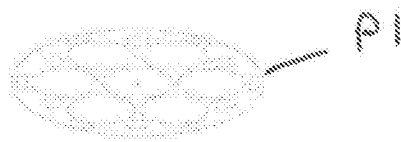
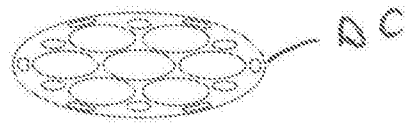
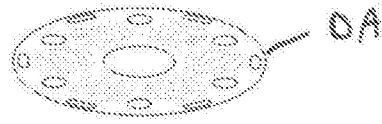


Fig. 3

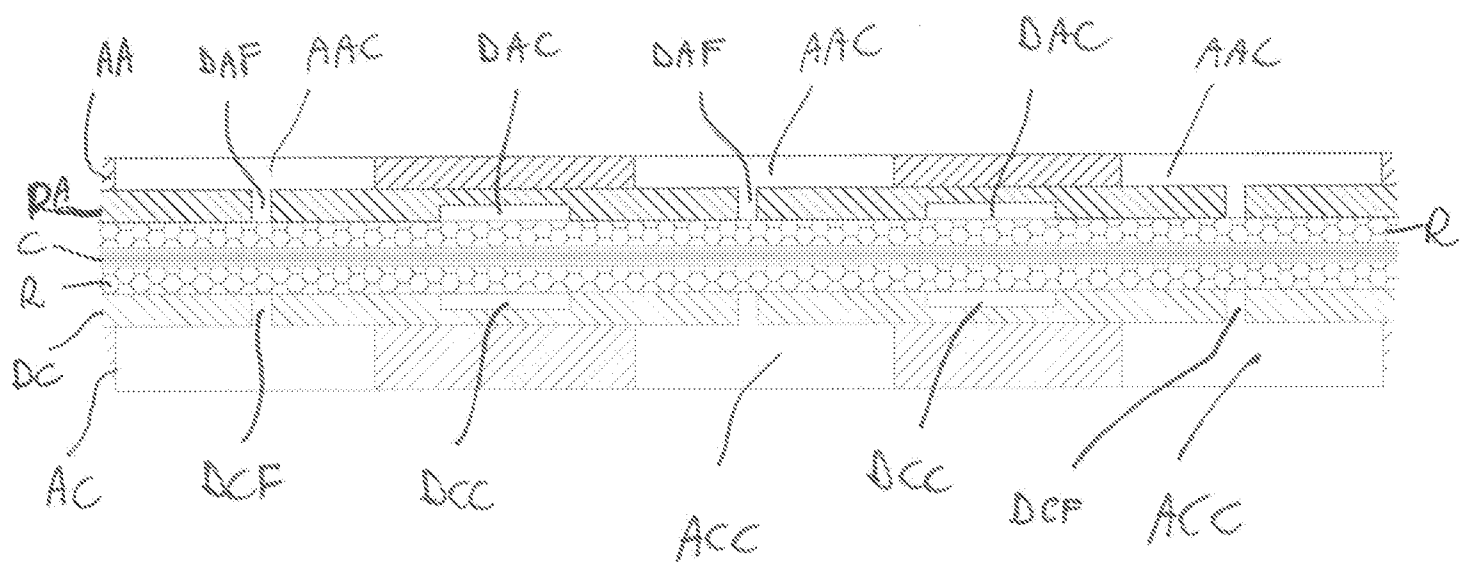


Fig. 4

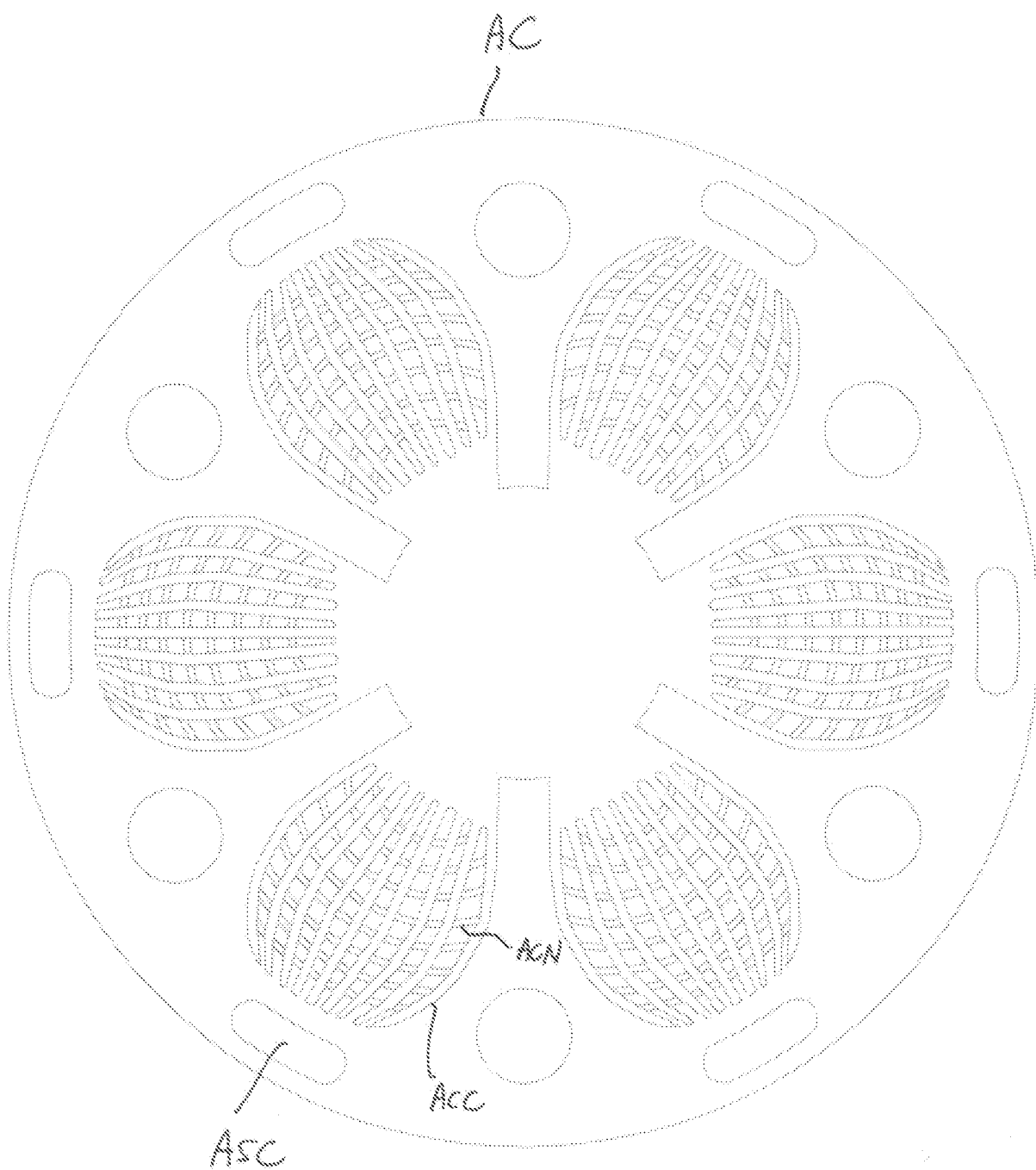


Fig 5a

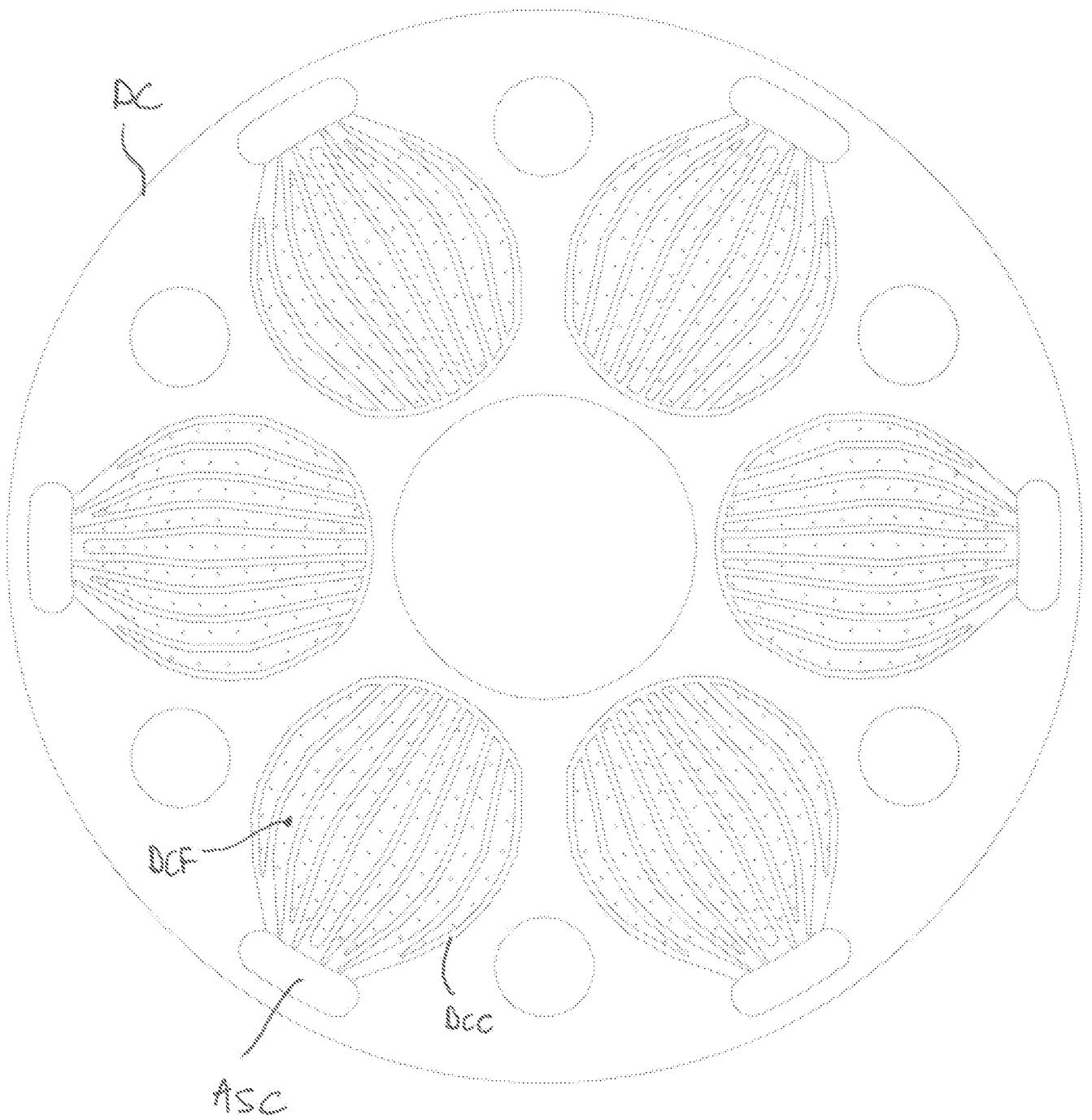


Fig. 5b

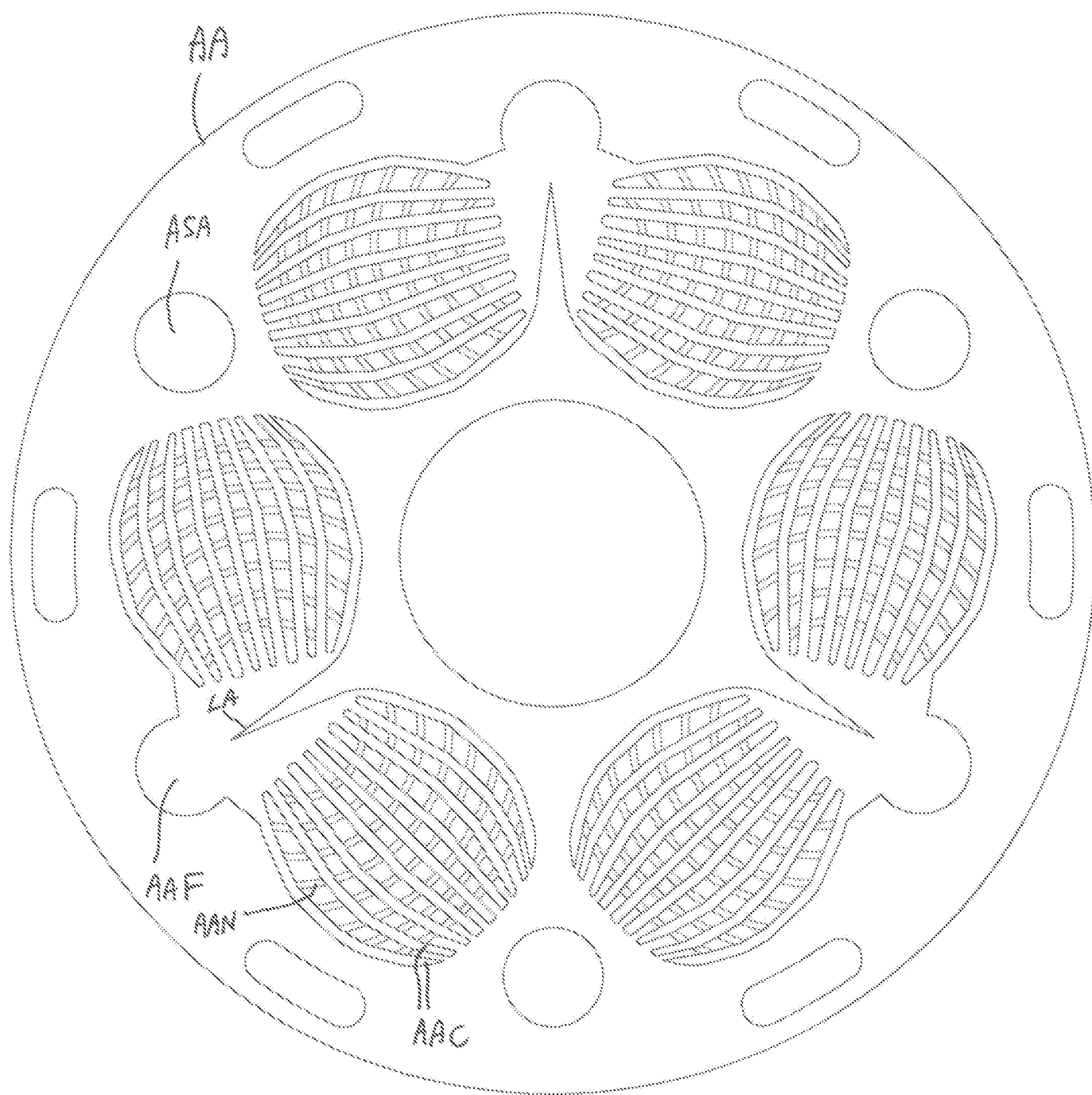


Fig. 6a

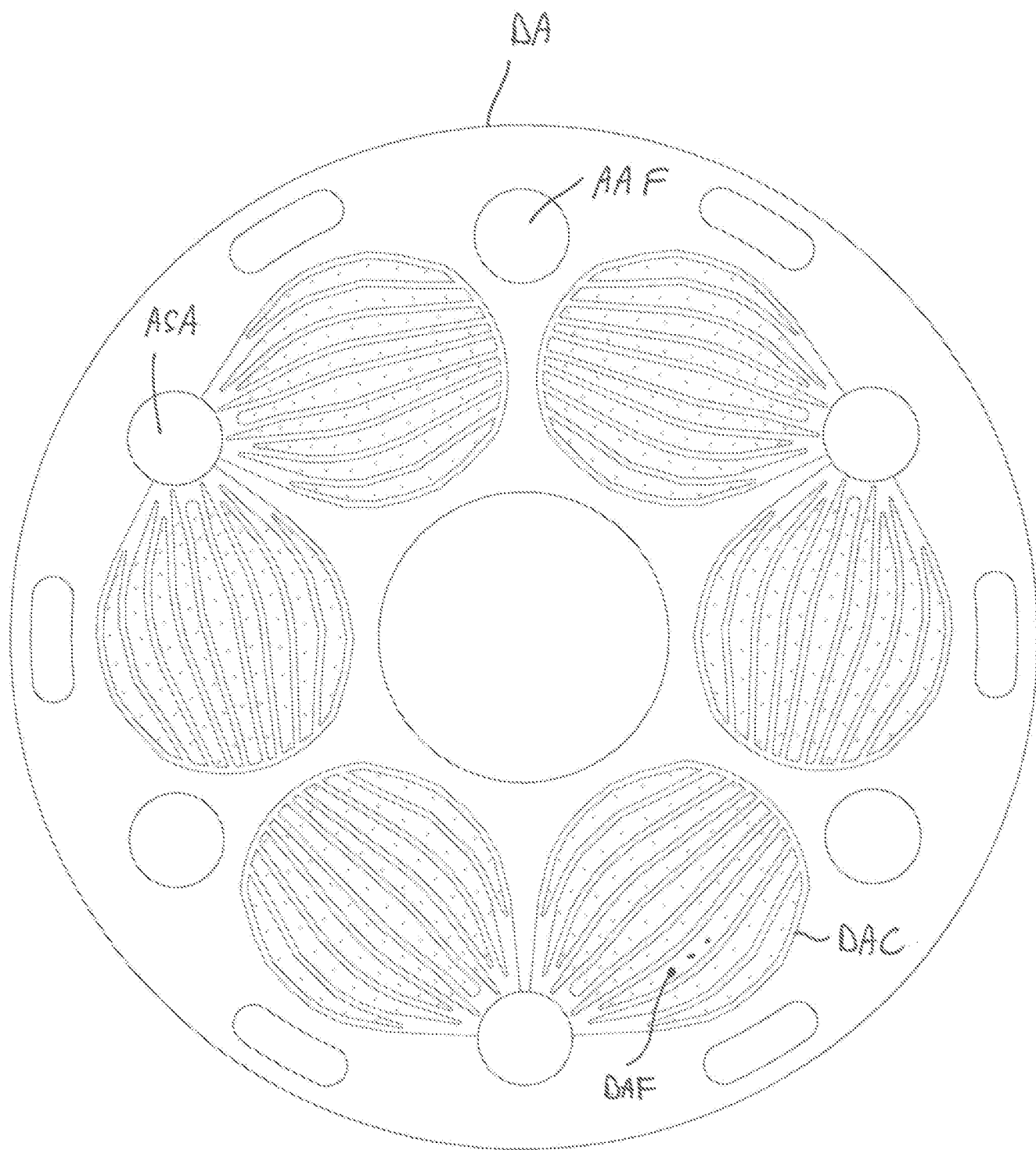


Fig. 6b

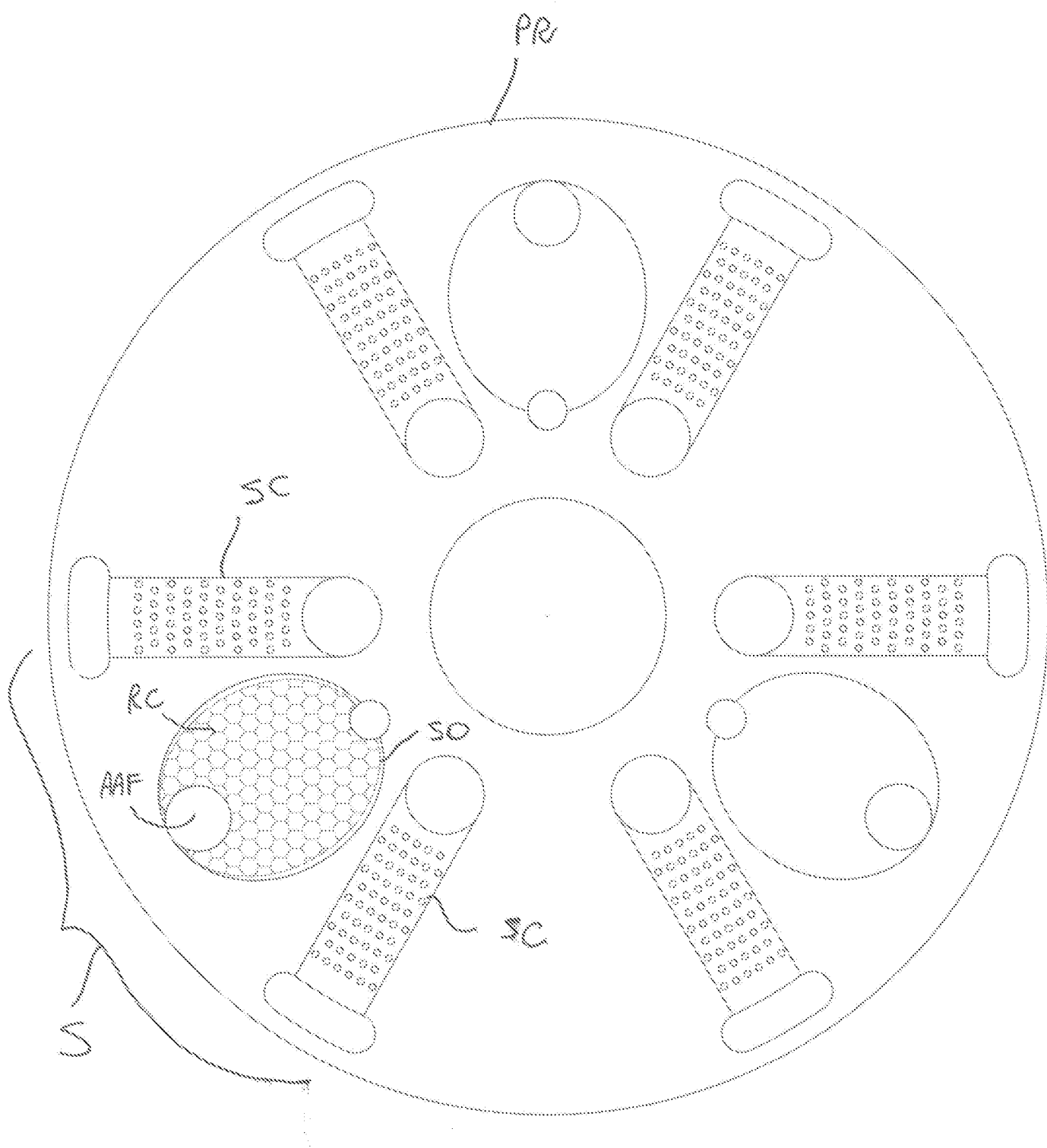


Fig. 7

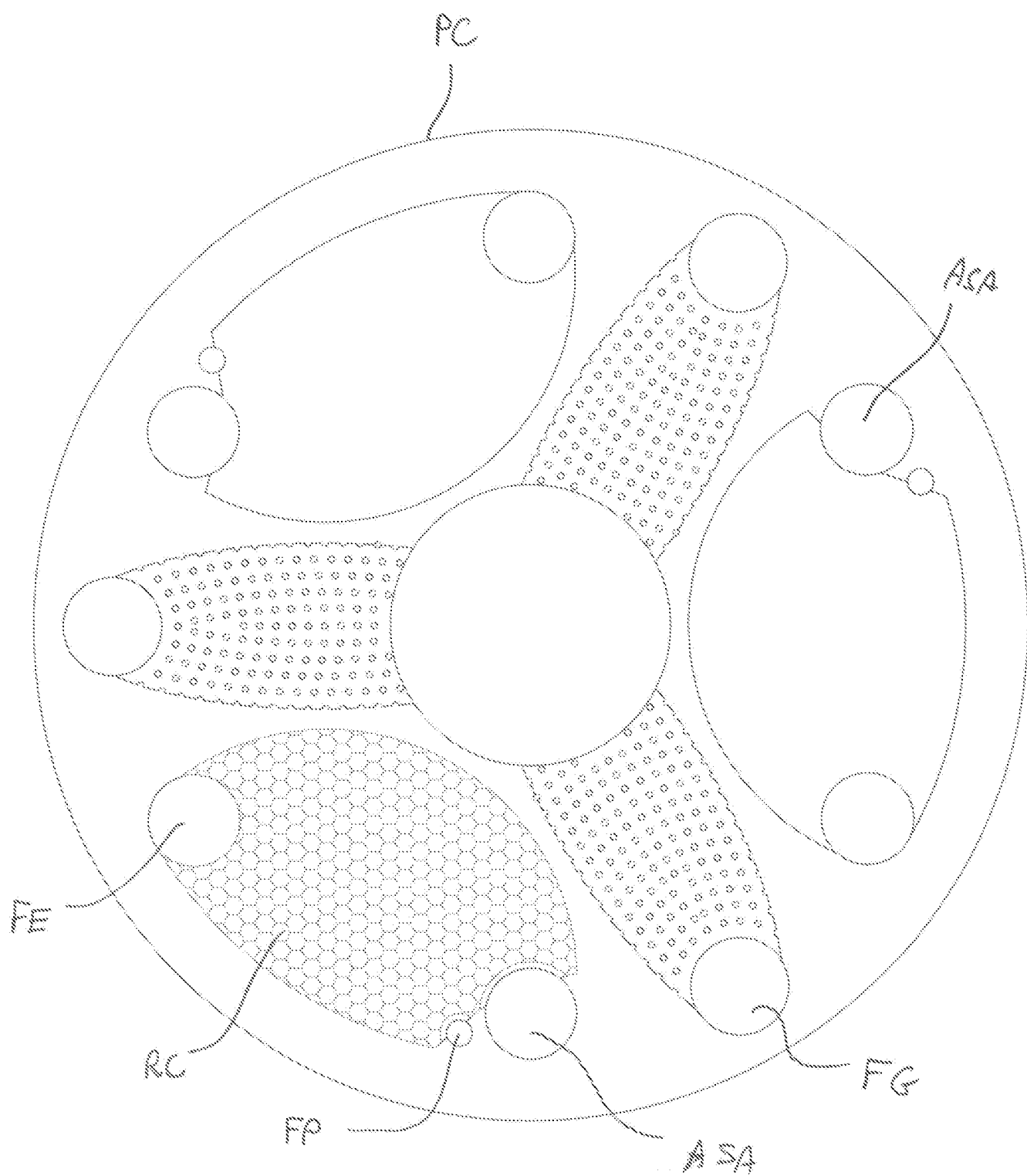


Fig. 8

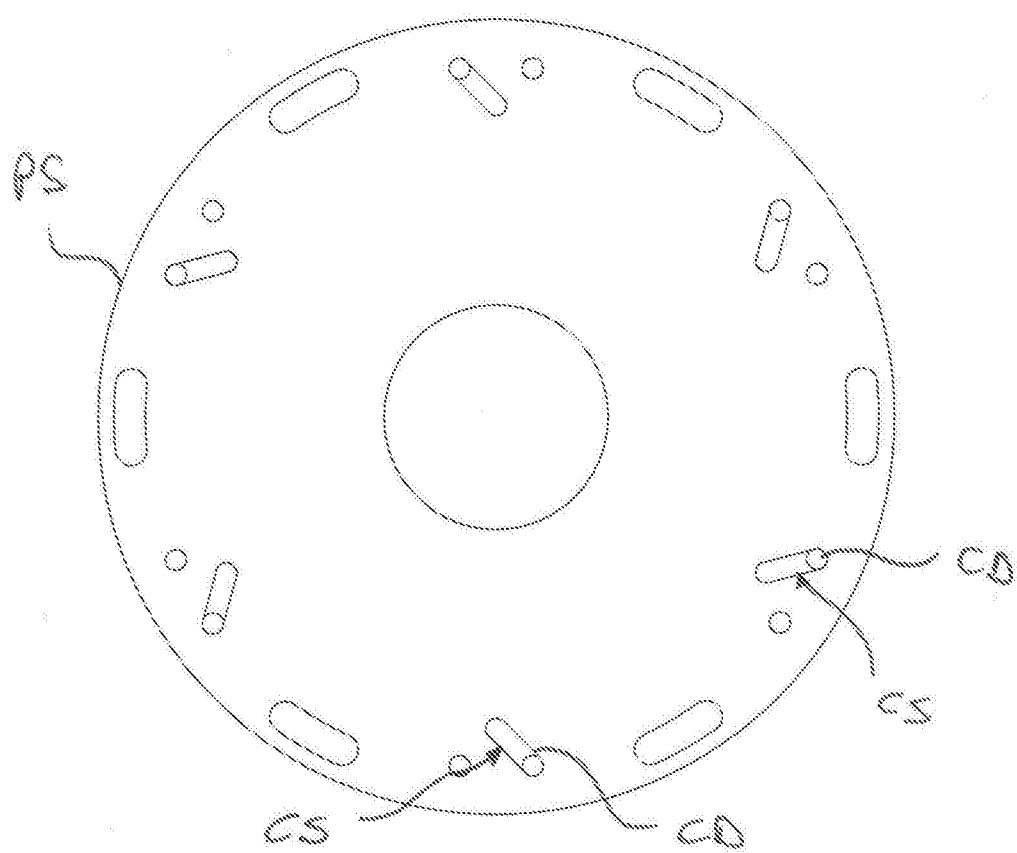


Fig 9a

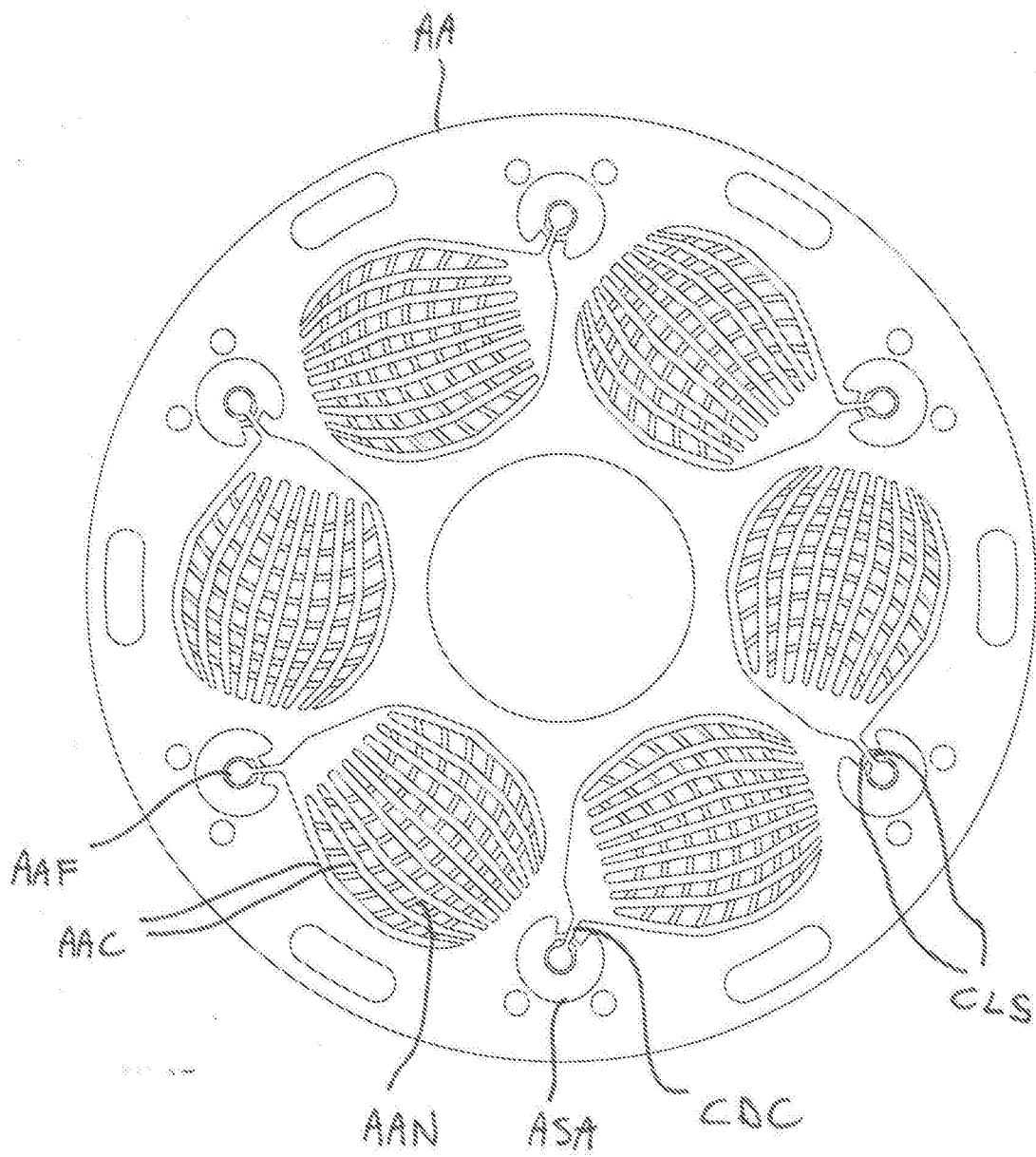


Fig. 2b

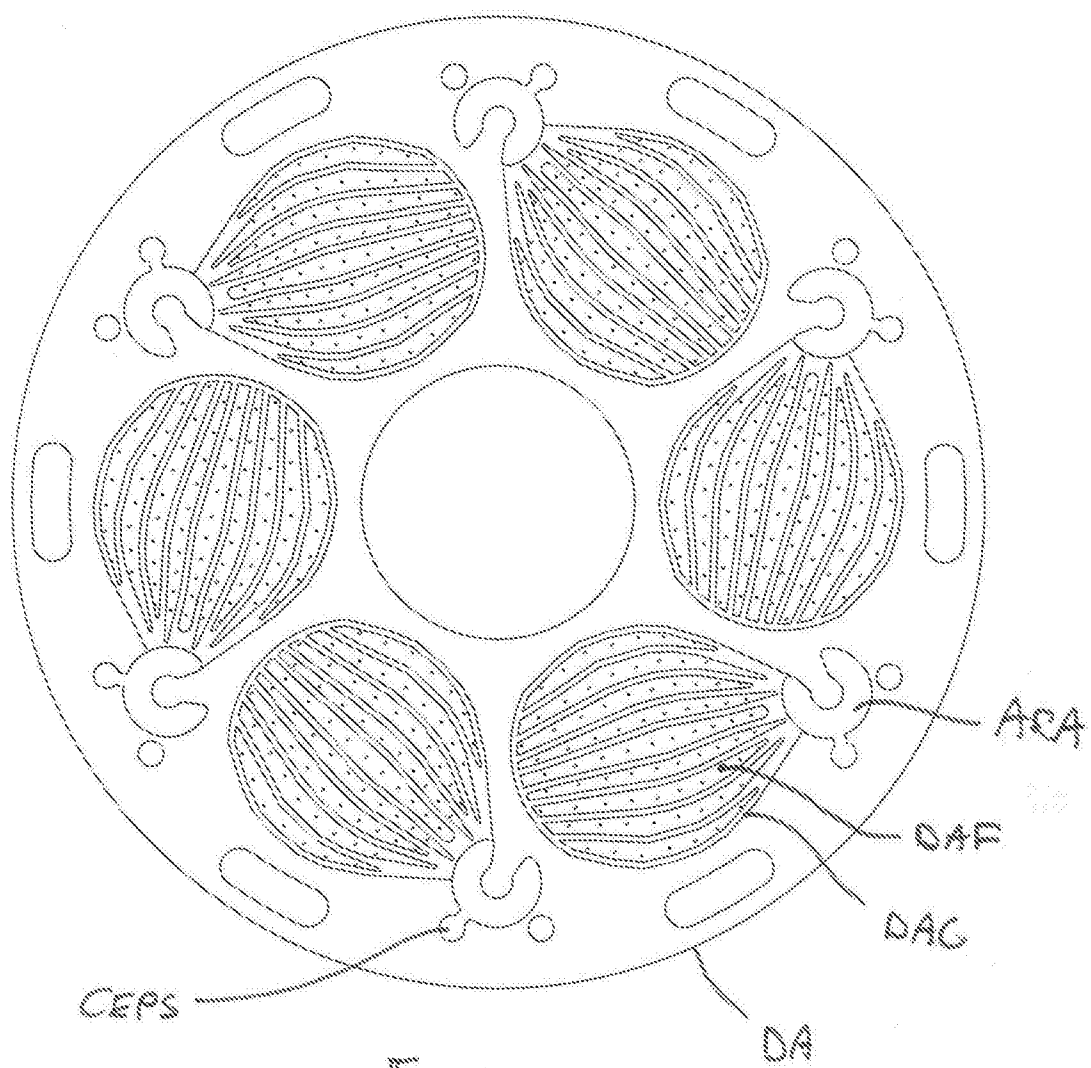


Fig. 9C