



(21) 申請案號：112101874

(22) 申請日：中華民國 112 (2023) 年 01 月 16 日

(51) Int. Cl. : C25B1/04 (2021.01)

|                     |    |            |
|---------------------|----|------------|
| (30) 優先權：2022/01/14 | 美國 | 63/299,898 |
| 2022/01/14          | 美國 | 63/299,902 |
| 2022/01/14          | 美國 | 63/299,910 |
| 2022/01/14          | 美國 | 63/299,892 |

(71) 申請人：美商博隆能源股份有限公司 (美國) BLOOM ENERGY CORPORATION (US)  
美國(72) 發明人：饒發 埃桑 RAOUFAT, EHSAN (IR)；札卡力 阿里 ZARGARI, ALI (US)；露娜  
朱利歐 LUNA, JULIO (US)；薩伊德曼尼什 阿里瑞莎 SAEEDMANESH,  
ALIREZA (US)

(74) 代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：18 項 圖式數：8 共 31 頁

(54) 名稱

電源管理控制

(57) 摘要

本發明揭示一種用於一固態氧化物電解器電池(SOEC)系統之控制器，該控制器經構形以接收一目標操作溫度，接收一讀回溫度值，且輸出一溫度設定點指令至複數個加熱器中之各者。

A controller for a solid oxide electrolyzer cell (SOEC) system, the controller being configured to receive a target operating temperature, receive a readback temperature value, and output a temperature setpoint command to each of a plurality of heaters.

指定代表圖：

符號簡單說明：

400:設定點產生器

411:目標操作溫度

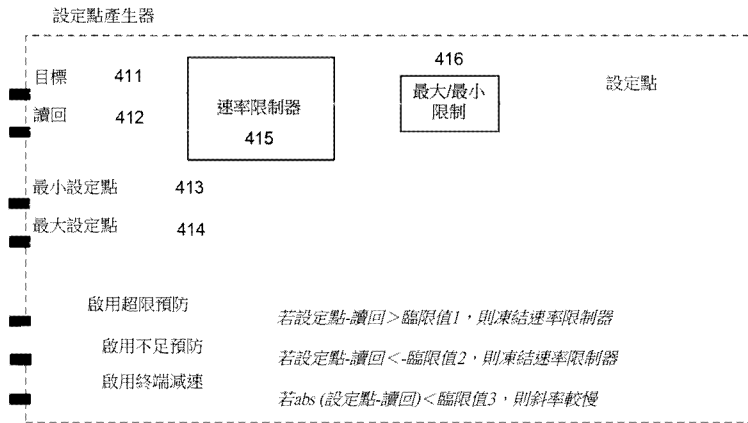
412:讀回溫度值

413:最小設定點

414:最大設定點

415:速率限制器

416:次級限制器



400

【圖4】

## 【發明摘要】

### 【中文發明名稱】

電源管理控制

### 【英文發明名稱】

POWER MANAGEMENT CONTROL

### 【中文】

本發明揭示一種用於一固態氧化物電解器電池(SOEC)系統之控制器，該控制器經構形以接收一目標操作溫度，接收一讀回溫度值，且輸出一溫度設定點指令至複數個加熱器中之各者。

### 【英文】

A controller for a solid oxide electrolyzer cell (SOEC) system, the controller being configured to receive a target operating temperature, receive a readback temperature value, and output a temperature setpoint command to each of a plurality of heaters.

### 【指定代表圖】

圖4

### 【代表圖之符號簡單說明】

400:設定點產生器

411:目標操作溫度

412:讀回溫度值

413:最小設定點

414:最大設定點

415:速率限制器

416:次級限制器

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

電源管理控制

### 【英文發明名稱】

POWER MANAGEMENT CONTROL

### 【技術領域】

【0001】 本發明之實施例大體上係關於固態氧化物電解器電池(SOEC)機械系統、蒸汽使用、電源控制及相關安全系統。

### 【先前技術】

【0002】 固態氧化物燃料電池(SOFC)可作為一電解器操作，以便產生氫氣及氧氣，稱為固態氧化物電解器電池(SOEC)。在SOFC模式中，氧化物離子自陰極側(空氣)傳輸至陽極側(燃料)，且其驅動力來自於橫跨電解質之氧分壓之化學梯度。在SOEC模式下，向電池之空氣側施加一正電勢，且氧化物離子現在自燃料側輸送至空氣側。由於陰極及陽極在SOFC與SOEC之間顛倒(即，SOFC陰極是SOEC陽極，且SOFC陽極是SOEC陰極)，因此SOFC陰極(SOEC陽極)可稱為空氣電極，且SOFC陽極(SOEC陰極)可稱為燃料電極。在SOEC模式期間，燃料流中之水減少( $H_2O + 2e \rightarrow O^{2-} + H_2$ )以形成 $H_2$ 氣體及 $O^{2-}$ 離子， $O^{2-}$ 離子被輸送通過固態電解質，且接著在空氣側被氧化( $O^{2-}$ 轉化為 $O_2$ )以產生分子氧。由於使用空氣及濕燃料(氫氣、經重整(reformed)天然氣)操作之一SOFC之開路電壓約為0.9至1V (取決於水含量)，因此在SOEC模式下施加至空氣側電極之正電壓將電池電壓升高至1.1至1.3V之典型操作電壓。

### 【發明內容】

**【0003】** 因此，本發明針對各種電源管理控制，其實質上消除歸因於相關技術之限制及缺點而導致之一個或多個問題。

**【0004】** 本發明之額外特徵及優點將在下面之描述中闡述，且部分將自描述中明白，或可藉由本發明之實踐來學習。本發明之目的及其他優點將藉由書面描述及其申請專利範圍及附圖中特別指出之結構來實現及獲得。

**【0005】** 應瞭解，上述一般描述及以下詳細描述都是例示性及解釋性的，且意在提供所主張之本發明之進一步解釋。

#### **【圖式簡單說明】**

**【0006】** 包含附圖是為了提供對本發明之一進一步理解且被併入本說明書中且構成本說明書之一部分，附圖繪示本發明之實施例，且與描述一起用於解釋本發明之原理。

**【0007】** 圖1是根據本發明之一實例實施例之一SOEC系統程序流程圖。

**【0008】** 圖2繪示根據本發明之一實例實施例之用於SOEC系統之一電源管理控制器。

**【0009】** 圖3繪示根據本發明之一實例實施例之一實例加熱器構形。

**【0010】** 圖4是根據本發明之一實例實施例之用於一加熱器之一設定點產生器。

**【0011】** 圖5繪示根據本發明之一實例實施例之一個別加熱器控制器。

**【0012】** 圖6繪示根據本發明之一實例實施例之一個別電源控制

器。

【0013】 圖7繪示根據本發明之一實例實施例之耦合至各個加熱器之設定點產生器。

【0014】 圖8繪示根據本發明之一實例實施例之一使用者控制面板。

#### 【實施方式】

【0015】 將參考附圖詳細描述各種實施例。在可能的情況下，在整個圖式中使用相同的元件符號來表示相同或類似的部件。對特定實例及實施方案之引用是為了說明性目的，且不意在限制本發明或申請專利範圍之實施例之範疇。

【0016】 本文之值及範圍可表示為自「約」一個特定值，及/或至「約」另一特定值。當表示此一範圍時，實例包含自一個特定值及/或至其他特定值。類似地，當值被表示為近似值時，藉由使用先行詞「約」或「實質上」，應理解為特定值形成另一態樣。在一些實施例中，「約X」之一值可包含 $\pm 1\%$  X或 $\pm 5\%$  X之值。應進一步理解，各範圍之端點對於其他端點都是重要的，且獨立於其他端點。值及範圍提供實例，但本發明之實施例不限於此。

【0017】 圖1是根據本發明之一實例實施例之一SOEC系統100。

【0018】 如圖1所繪示，SOEC系統100包含空氣管道105、空氣鼓風機106、空氣入口107、蒸汽管道110、再循環蒸汽入口111、熱箱150、可選氫氣管道130、濃縮空氣出口123、濃縮空氣管道125、濃縮空氣鼓風機126、蒸汽及氫氣產品出口120、分流器160、文丘裡(Venturi)流量計165、蒸汽再循環鼓風機170及熱感測器175。

【0019】 根據一實例構形及操作，蒸汽管道110處之蒸汽輸入(例如，在不同壓力下供應現場或設施蒸汽)可具有在約100°C至110°C (例如，105°C)之間的一溫度，以及約為1 psig之一壓力。在各種實施例中，蒸汽可自一外部源輸入至SOEC系統100，或可在本地(本機內)產生。在一些實施例中，多個蒸汽入口可經構形以分別接收外部蒸汽及本地蒸汽。可替代地或額外地，水可被輸入至SOEC系統100且被蒸發。

【0020】 空氣管道105處之空氣輸入(例如，環境空氣)可為當地大氣壓力下之環境溫度，或許約-20°C與+45°C之間。來自空氣管道105之空氣在空氣鼓風機106處被接收，且歸因於壓縮熱，由空氣鼓風機106輸出之空氣溫度將略高於環境溫度。例如，與20°C環境空氣溫度相比，由空氣鼓風機106輸出之空氣之溫度在1.0 psig下可為約30°C。接著，空氣管道105之空氣輸入在熱箱150之空氣入口107處被接收。

【0021】 當SOEC系統100未以其他方式產生氫氣時，來自可選氫氣管道130之氫氣可僅用於啟動及瞬態。例如，不再需要一個別的氫氣進料流或穩定狀態下之氫氣再循環蒸汽。此氫氣流之壓力是在現場施工時確定之一設計選項，可在約5 psig至3000 psig之間。溫度可接近環境溫度，因為其可來自儲存。

【0022】 空氣管道105處之空氣輸入、蒸汽管道110處之蒸汽輸入及可選氫氣管道130處之氫氣輸入被輸入至熱箱150。繼而，熱箱150在熱箱150之蒸汽及氫氣產品出口120處輸出蒸汽及氫氣產品H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-G，其中G代表毛重。熱箱輸出H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-G可具有在約100°C至180°C (例如，130°C)之間的一溫度，在約0.1至0.5 psig之間的一壓力。

【0023】 此外，熱箱輸出H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-G被輸入至分流器160，且被分成

一蒸汽再循環流RECH<sub>2</sub>OLP，其中LP代表低壓，及一淨產品H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-N，其中N代表淨(例如，商業用途或儲存之輸出)。此處，淨產品H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-N可具有約100°C至180°C (例如，130°C)之間的一溫度、約0.1 psig至0.5 psig之間的一壓力。蒸汽再循環流RECH<sub>2</sub>OLP可具有約100°C至180°C (例如130°C)之間的一溫度、約0.1 psig至0.5 psig之間的一壓力。熱箱150可進一步在濃縮空氣出口123處經由濃縮空氣管道125輸出濃縮空氣，該濃縮空氣管道在基本上局部大氣壓(例如，小於0.5 psig或小於0.05 psig)下可具有約120°C至300°C之間的一溫度。

**【0024】** 蒸汽再循環流RECH<sub>2</sub>OLP被輸入至蒸汽再循環鼓風機170。所得的再循環蒸汽REC-STM可具有約100°C至180°C (例如，140°C、154°C)之間的一溫度、約0.5至1.5 psig (例如，約1 psig)之間的一壓力，且在再循環蒸汽入口111處輸入熱箱150。在一些實施例中，再循環蒸汽中可不包含再循環氫進料。

**【0025】** 從圖1中可理解，與具有內部蒸汽產生之一SOEC構形相比，蒸汽管道110處之進入蒸汽溫度(例如，105°C)較低。在各種構形中，可將複數個再循環回路經構形於SOEC系統以使用內部蒸汽產生及外部蒸汽產生。如圖所展示，再循環蒸汽入口111經構形以接收來自蒸汽管道110之蒸汽。此處，實施例視情況將來自蒸汽管道110之設施供應之蒸汽(通常飽和且溫度約為105°C)穿過內部蒸汽產生線圈、一個或多個蒸發器及/或其他加熱元件，且在熱量穿過可選風扇或濃縮空氣鼓風機126在濃縮空氣管道125處釋放之前，使用空氣廢氣熱量(例如~280°C)進一步加熱(即過熱)蒸汽供應。

**【0026】** 圖2繪示根據本發明之一實例實施例之用於SOEC系統(例



如100)之一電源管理控制器200。

**【0027】** 電源管理控制器200經構形以接收可用電源限制(kW) 211、可用蒸汽流量限制(slm) 212及所需製氫(Kg/h) 213之輸入，以及輸出一分段電流指令221 (Amps)。電源管理控制器200在滿足不同約束(諸如有限的可用電源211、有限的可用蒸汽212及請求的製氫213之同時以一最佳電源位準及製氫作業系統。電源管理控制器200執行以滿足所請求的製氫率213，同時確保電源消耗低於可用電源限制211且蒸汽流量消耗低於可用蒸汽流量限制212。

**【0028】** 可用電源限制(kW) 211是SOEC系統允許在任何時候使用之最大可用電源。違反可用電源限制211可導致一個或多個保護裝置(未展示)跳閘。在一些實例中，可用電源限制211可基於能源價格、電力饋線限制、間歇性可再生能源發電、與具有有限額定電源之一儲能系統耦合，及其類似者。

**【0029】** 請求的製氫(Kg/h) 213是規定請求的製氫率之一值。

**【0030】** 可用蒸汽流量限制(slm) 212是用於電解之最大可用蒸汽。在蒸汽流量限制之情況下，SOEC系統可經構形以避免預期蒸汽流量高之操作區域。違反可用蒸汽流量限制212可導致低溫蒸汽流，其可損壞SOEC熱箱(例如熱箱150)。在一些實例中，可用蒸汽流量限制212可歸因於有限的水流或有限的熱能以產生蒸汽。

**【0031】** 電源管理控制器200之總體結構如圖2所展示。電源管理控制器200透過外部指令(例如211、212、213)接收輸入。外部指令值取決於時間，且可在系統操作期間變動。電源管理控制器200在保持可用電源限制211 (即，消耗電源限制)及可用蒸汽流量212之同時實現所請求的製

氫率213。例如，基於可用電源限制211及可用蒸汽流量限制212，可將所請求的製氫率213設置為一高值以操作SOEC系統；或可將所請求的製氫率213設置為一低值且限制製氫。

【0032】如圖2所繪示，電源管理控制器200包含成一閉環構形之分段電源斜率限制器215、蒸發器電源估計器216、加熱器電源估計器217及恆定儲備電源218。電源管理控制器200進一步包含成分計算器219。分段電源斜率限制器215及成分計算器219中之各者之各自輸出被提供至一個或多個電源模組220 (例如，電源PID、比例-積分-微分模組)。

【0033】分段電源斜率限制器215用於基於剩餘可用電源以增加分段電源設定點。分段電源斜率限制器215之輸出被發送至一個或多個電源模組220。剩餘可用電源計算為可用電源限制減去估計蒸發器電源、估計加熱器電源及儲備電源之和，如下文所展示。

$$\text{剩餘可用電源} = \text{可用電源限制} - (\text{估計蒸發器電源} + \text{估計加熱器電源} + \text{儲備電源})$$

【0034】蒸發器電源估計器216可基於歷史資料。例如，使用一曲線擬合方法來估計不同分段電源位準下之蒸發器電源(例如，使用預期水流間接計算)。若歷史資料不可用，最大蒸發器電源可用作基線。

【0035】加熱器電源估計器217可基於歷史資料。例如，使用一曲線擬合方法來估計不同分段電源位準下之總加熱器電源。若歷史資料不可用，可使用總的最大加熱器電源作為基線。加熱器電源估計器217計算SOEC系統中操作加熱器之總數，且在故障之情況下調整估計電源。在一實例構形中，各SOEC系統中總共可有五個加熱器，包含一空氣加熱器、頂部/中間/底部熱箱加熱器及蒸汽加熱器。在另一實例構形中，SOEC可

進一步包含一內部或外部蒸發器。SOEC電池在高溫下操作，且因此需要熱源來達到所需溫度。圖3繪示根據本發明之一實例實施例之一實例加熱器構形300。

【0036】 回到圖2，恆定儲備電源218是用於考慮電廠平衡(balance of plant；BOP)組件所需電源且提供一安全界限之儲備電源。設置之恆定儲備電源218值越高，實現之性能越保守。

【0037】 成分計算器219接收可用蒸汽流量限制212及要求的製氫213，且計算供應至一個或多個電源模組220之最大可能分段電流。

【0038】 電源模組220接收分段電源設定點，且藉由調整分段電流指令來調節分段電源讀回。電源模組220被用作分段電壓，分段電壓可能是未知的，且可在不同的電流指令下改變。分段電流指令總是正的，且低於由成分計算器219計算之最大可能電流。

【0039】 熱箱分段電流越高，預計製氫越高，而熱箱分段電流越低，預計氫氣產量越低。在各種實施例中，可實施與電源管理控制器相關之一個或多個安全警報。實例警報包含：

- 可用電源低停機警報：該警報監測電源消耗，且若值非常低(不足以為BOP組件供電)，電源管理控制器200觸發停機警報。
- 可用電源違規斜坡警報：該警報監測電源消耗，且若發生違規，電源管理控制器200觸發一斜坡警報(即，強制降低電源)。
- 可用蒸汽違規斜坡警報：該警報監測蒸汽消耗，且若發生違規，電源管理控制器200觸發一斜坡警報(即，強制減少蒸汽流量)。

【0040】 為了適應可再生能源在電網中之高度滲透，電解器可經構形以儲存多餘的能量，且自多餘的能量中產生清潔氫氣。產生的氫氣可稍

後使用(例如，儲存以供稍後使用)以產生電力或直接用於其他應用。

**【0041】** 圖4是根據本發明之一實例實施例之用於一加熱器之一設定點產生器400。設定點產生器400可用於系統加熱器及蒸發器。

**【0042】** 設定點產生器400經構形以將熱箱(例如，熱箱150)之一平均溫度維持在所需的操作溫度(例如，650°C至900°C之間)附近。在確定一設定點指令時，可設置一目標操作溫度411。此外，一個或多個熱感測器可用於檢索一讀回溫度值412。繼而，在速率限制器415處計算一加熱斜率(例如，斜坡上升或斜坡下降)。加熱斜率可在次級限制器416處被限制在最小設定點413與最大設定點414之間。

**【0043】** 在操作中，設定點產生器400是一控制器，其經構形以調整設定點(例如，自室溫至熱箱之目標操作溫度)。在一些構形中，設定點產生器400具有特徵，諸如設定點超限預防、設定點不足預防及使用相應臨限值之終端減速。此等特徵中之各者可用來保證熱箱溫度在調溫及穩定狀態期間之穩定性。

**【0044】** 因此，設定點產生器400經構形以藉由減少不同熱感測器位置之間的溫度差來維持熱箱(例如熱箱150)之一均勻溫度或溫度範圍。此外，藉由控制各加熱器電源位準來調節熱斜率。因此，藉由獨立的加熱器控制實現對個別加熱器故障之穩健性，且防止不穩定的熱區域。

**【0045】** 圖5繪示根據本發明之一實例實施例之一個別加熱器控制器500。個別加熱器控制器500可用於系統加熱器及蒸發器。

**【0046】** 如圖5所繪示，個別加熱器控制器500接收一產生的溫度設定點(例如，來自設定點產生器400)。以此方式，各個別加熱器可經構形以接收一產生的設定點。

【0047】 各加熱器控制器500包含一溫度控制模組511 (例如，電源PID、比例-積分-微分模組)，以藉由產生電源指令實現所需溫度。各加熱器控制器500進一步包含一電源限制器模組512 (例如，電源限制器PID、比例-積分-微分模組)，以藉由限制到相應加熱器之電源來將加熱器表皮溫度保持在製造推薦之臨限值以下。電源限制器模組512連續地或週期性地用於使用一個或多個熱監測器來監測加熱器表面溫度。

【0048】 可為各相應的加熱器確定供應至溫度控制模組511之溫度讀回。對於一空氣加熱器，溫度讀回是平均熱箱溫度讀回；對於熱箱加熱器，溫度讀回是對應的熱箱列溫度讀回；且對於蒸汽加熱器，溫度讀回是流入熱箱之入口蒸汽溫度。使用個別加熱器控制器500，各加熱器被協調以將熱箱平均溫度維持在期望的操作點周圍，從而在熱箱(例如，熱箱150)上提供均勻的溫度且減小溫度差。個別加熱器控制器500對於單個及多個加熱器故障是穩健的，因為其他可用加熱器可經構形以補償且達到設定點溫度。

【0049】 因此，個別加熱器控制器500可控制加熱器電源，無論有否阻抗資訊。此外，個別加熱器控制器500限制電源使用，以避免違反加熱器表皮溫度限制且延長加熱器壽命。因此，個別加熱器控制器500避免違反各加熱器之最大電流/電壓限制，以延長加熱器壽命。

【0050】 圖6繪示根據本發明之一實例實施例之一個別電源控制器600。個別電源控制器600可用於系統加熱器及蒸發器。

【0051】 在操作中，如圖7所展示，在個別加熱器控制器500與個別電源控制器600之間的各自加熱器內發生一資訊交換。例如，電源模組590 (例如，電源PID、比例-積分-微分模組)接收一電源設定點(即，電源

指令)，如上文所討論。此外，電壓及電流感測器用於使用電源計算器565計算讀回(即，回饋)。電壓及電流讀回可由低通濾波器575過濾，且提供給電源模組590，以計算各自加熱器之適當電流指令。

**【0052】** 來自溫度控制模組511之電源指令被發送至電源模組590。用於各加熱器之個別電源控制器600用於控制至DCDC (即，DC至DC轉換器)之電流以實現期望的電源位準。在一些構形中，在個別電源控制器600中有兩種操作模式用於向DCDC指令電流及電壓。第一模式是在加熱器安裝時測量加熱器阻抗之一估計阻抗模式。第二模式是加熱器阻抗未知之一電源模式。

**【0053】** 圖7繪示根據本發明之一實例實施例之耦合至各自加熱器之一設定點產生器(例如400)。各自加熱器包含個別加熱器控制器(例如500)及個別電源控制器(例如600)。

**【0054】** 如本文所描述，使用此多區域控制方法動態控制加熱器電源，以確保系統層級及個別加熱器控制目標。在一些構形中，加熱器可在受控停機期間停用。

**【0055】** 實施例提供與SOEC之加熱子系統相關之控制器之構形，以動態控制各個別加熱器，且基於系統操作協調其等。熱量通常消耗在電解器中，例如，在加熱期間或在低電流操作期間。

**【0056】** 在各種實施例中，可實施一個或多個與監控熱箱溫度相關之安全警報。實例警報包含：

- 高熱箱最高溫度停止警報：此警報監測SOEC熱箱最高溫度。在高溫情況下，控制器觸發一停止警報。
- 高熱箱平均溫度停止警報：此警報監測SOEC熱箱平均溫度。在高

溫情況下，控制器觸發一停止警報。

- 低熱箱平均溫度停止警報：此警報監測SOEC熱箱平均溫度。在低溫情況下，控制器觸發一停止警報。

**【0057】** 在各種實施例中，可實施一個或多個與監控個別加熱器相關之安全警報。實例警報包含：

- 高加熱器表皮溫度停止警報：此警報監測加熱器表皮溫度。在高溫之情況下，控制器觸發一停止警報。

- 加熱器儀器故障停止警報：此警報監測加熱器之儀器。在發生重大故障之情況下，控制器觸發一停止警報。

**【0058】** 因此，與SOEC系統之加熱子系統相關之控制器產生控制/程序信號，該等信號被發送至DCDC轉換器，DCDC轉換器向熱箱(例如熱箱150)中之各加熱器提供可變電力。控制器能夠保持熱箱溫度不受干擾，協調加熱器電源，且保持加熱器操作限制。實施例是容錯的且響應於多個加熱器故障。

**【0059】** 圖8繪示根據本發明之一實例實施例之一使用者控制面板800。例如，本文展示用於加熱器之設定點產生器。

**【0060】** 如上文所討論，SOEC系統內可使用多個加熱器。在一實例構形中，各SOEC系統內總共可有五個加熱器，包含一空氣加熱器、頂部/中間/底部熱箱加熱器及蒸汽加熱器。此外，在另一實施例中，可添加一內部或外部蒸發器以將蒸汽輸出供應至熱箱(例如，熱箱150)。例如，水被輸入至一內部蒸汽子系統，且使用一個或多個蒸發器被轉化為蒸汽。蒸汽流可藉由使用沿著輸入水管線及蒸發器上游之一個或多個閥(例如，電動閥)調節水流來間接控制。

**【0061】** 內部蒸汽模組可在多種狀態下操作。

**【0062】** 例如，關閉狀態。在關閉狀態下，控制器控制一水閥及/或一品質流量控制器以保持關閉且停用蒸發器。因此，當控制器處於關閉狀態時，不會產生蒸汽。

**【0063】** 例如，加熱狀態：在加熱狀態下，水閥及/或品質流量控制器保持關閉，但控制器啟用蒸發器。溫度控制PID用於藉由向電源控制器發送一電源指令來加熱蒸發器。蒸發器表皮溫度讀回用作加熱蒸發器之一程序變數。

**【0064】** 例如，受控流量狀態。在受控流量狀態下，控制器打開水閥及/或品質流量控制器以接收水流指令。水流指令是基於用於電解器操作所需之蒸汽流量來計算。一旦蒸汽溫度足夠高(例如，大於150°C)，溫度控制PID程序變數自蒸發器表皮溫度變為蒸汽溫度讀回。

**【0065】** 在操作中，當蒸發器處於加熱溫度時，控制器自加熱狀態過渡為受控流量狀態。此過渡保證在水開始流動之前蒸發器有足夠的溫度。溫度控制PID負責在蒸發器加熱、水流斜坡及穩定狀態操作期間之蒸發器加熱及蒸汽溫度控制。

**【0066】** 切換溫度控制PID程序變數具有以下優點。在初始加熱期間，使用蒸發器表皮溫度進行加熱。在過渡到受控流動狀態期間，仍使用蒸發器表皮溫度，因為蒸汽溫度最初可會隨著延遲而增加(隨著更多的水流動，蒸汽溫度增加)。因此，可藉由忽略初始蒸汽溫度來避免蒸發器溫度過高。一旦蒸汽足夠熱，直接控制蒸汽溫度，以降低電源消耗且調節蒸汽溫度。

**【0067】** 因此，蒸汽溫度可控制在所需的設定點處。蒸汽流量可藉



由調節輸入液體水流量來控制。此外，在蒸汽流量斜坡及穩定狀態操作期間，提供高溫及穩定的蒸汽流量。

**【0068】** 與SOEC內部蒸汽子系統相關之控制器(例如，控制器400、500、600)藉由控制水閥、水品質流量控制器及蒸發器DCDC轉換器來協調此子系統之不同設備。其保證在蒸汽流量斜坡及穩定狀態流量期間供應高溫及穩定的蒸汽流量。實施例不限於任何特定蒸發器。

**【0069】** 在各種實施例中，可實施與監控內部蒸汽模組相關之一個或多個安全警報。實例警報包含：

- 高蒸發器表皮溫度停止/警告警報：此警報監測蒸發器之最高表皮溫度。在高溫之情況下，開發的控制器觸發停止/警告警報。

- 蒸發器升溫超時停止警報：此警報監測蒸發器初始加熱時間。在蒸發器加熱明顯延遲之情況下，開發的控制器觸發一停止警報。

- 高水位讀回偏差停止警報：此警報監測水品質流量控制器回應。在高流量偏離設定點之情況下，開發的控制器觸發一停止警報。

- 低蒸汽溫度停止警報：此警報監測蒸汽溫度。在蒸汽溫度低之情況下，開發的控制器觸發一停止警報。

- 蒸汽模組儀器故障警報：此警報監測蒸汽模組儀器。在發生重大故障之情況下，開發的控制器觸發一停止警報。

**【0070】** 很容易理解，由SOEC系統產生之氫氣可很容易地供應給各種應用，諸如用於商業及社區之AlwaysON微電網、氫燃料電池車輛、向天然氣管道注入氫氣及許多其他應用。

**【0071】** 對於可再生製氫，固態氧化物電解系統可與可再生資源整合，諸如，太陽能、風能及水力。可再生綠色製氫需要提高及降低製氫

率，以滿足可用的可再生電力。

**【0072】** 此等間歇性自然資源產生之電力並不總是以恆定速率提供。因此，固態氧化物電解器系統與可再生(例如，零碳排)電力資源之積體化需要熱管理，以保持SOEC系統熱，且在客戶現場電力有限之情況下準備產生氫氣，且在電力可用時快速切換到製氫。在電源受到限制或變得可用時，保持系統熱且避免熱循環對於降低SOEC系統中不同組件之退化且增加組件及系統壽命是必要的。因此，實施例包含一熱備用操作模式，其中使SOEC系統保持熱且準備產生氫氣所需之電力最小化，且負責增加壽命之流量亦最小化。此外，重要的是要有一系列步驟自製氫狀態進入熱備用狀態，且自熱備用狀態退出製氫狀態，同時確保系統中所有組件之適當操作。

**【0073】** 熱備用模式關閉蒸汽模組，以使蒸發器在一所需溫度下產生蒸汽所需之電力為零(用於內部產生的蒸汽單元所需)。此外，熱備用迫使外部新鮮氫氣(以防止燃料電極氧化)以氫氣品質流量控制器可保持之最小速率。空氣流速最小化，但不能完全停止，以防止堆疊及空氣加熱器燒壞。

**【0074】** 對於在一天中某些時段在可用電力有限之場所操作之系統(例如，可再生電力資源)，在有限的可用電力時段之開始及結束時，防止系統之熱循環。保持系統熱且準備產生氫氣所需之電源最小化，同時提供不使系統及其組件退化所需之最小流量。熱備用操作模式及進入/退出製氫狀態之序列保證所有所需之流量以平穩過渡至/離開製氫狀態。

**【0075】** 固態氧化物電解器系統是一種高效的高溫電解器，其使用電力將蒸汽分解為氫氣作為主要產品且氧氣作為副產品。隨著各國承諾實

現淨零碳排放目標，對氫氣之需求正在增加。固態氧化物電解器技術在各種製氫場景中發揮著競爭作用，包含利用過剩的可再生能源，與工業程序及核反應爐之大規模熱源整合。

**【0076】** 建議採取以下步驟退出製氫狀態且進入熱備用模式。首先，自全氫產生逐步降至零氫產生。第二，打開DCDC接觸器。第三，停止蒸汽模組，停止內部產生之蒸汽單元中之水流及蒸發器，且在外部提供之蒸汽單元中停止蒸汽。第四，在數個步驟中將空氣減少至由空氣鼓風機可維持之最小空氣量。最後，將新鮮氫氣降低至由氫氣品質流量控制器可維持之最小流量。

**【0077】** 通過建議的步驟及調整序列，可實現使單元保持熱且準備好製氫之最小電力。此最小電力主要在加熱器中消耗，以補償自熱箱外殼至大氣之熱損失。此外，在自製氫狀態至熱備用狀態之過渡中之平滑模組電壓且在熱備用狀態中之穩定電壓增強熱備用模式中之步驟序列及操作條件之可靠性。

**【0078】** 以下步驟是退出熱備用狀態，且進入製氫狀態。首先，將新鮮氫氣增加至進入製氫狀態所需之流量設定點。第二，在數個步驟中將空氣增加至進入製氫狀態所需之流量設定點。第三，啟動蒸汽模組，在內部產生之蒸汽單元中啟動水流及蒸發器加熱程序，且在外部提供之蒸汽單元中啟動蒸汽。第四，關閉DCDC接觸器。最後，自零氫產生逐步提高至全氫產生。

**【0079】** 熱備用模式及過渡至/脫離此狀態之步驟序列防止連續的熱循環(增加堆疊之壽命)且長時間的準備時間，以恢復一天中某些時間在可用電力有限之場所操作之系統之製氫狀態(可再生電力資源)。其亦最小化

所需之電力及流量以保持單元熱(所需溫度)及準備產生氫氣。

**【0080】** 儘管此處描述之各種控制器(例如，200、400、500、600)是分別展示，但控制器可為單獨的或整合到一單一控制器中。本文描述之各種控制器可為鄰近熱箱150之系統外殼內之嵌入式控制器。本文描述之各種控制器可包含一非暫時性記憶體及一個或多個處理器，該一個或更多個處理器經構形以執行本文描述之指令及功能。

**【0081】** 應明白，對於習知技術者而言，在不背離本發明之精神或範疇之情況下，可對本發明之電源管理控制進行各種修改及變動。因此，本發明意在涵蓋本發明之修改及變動，只要其等在隨附申請專利範圍及其等同物之範疇內。

#### **【符號說明】**

##### **【0082】**

100:固態氧化物電解器電池(SOEC)系統

105:空氣管道

106:空氣鼓風機

107:空氣入口

110:蒸汽管道

111:再循環蒸汽入口

120:蒸汽及氫氣產品出口

123:濃縮空氣出口

125:濃縮空氣管道

126:濃縮空氣鼓風機

130:可選氫氣管道

- 150:熱箱
- 160:分流器
- 165:文丘裡流量計
- 170:蒸汽再循環鼓風機
- 175:熱感測器
- 200:電源管理控制器
- 211:可用電源限制(kW)
- 212:可用蒸汽流量限制(slm)
- 213:所需製氫(Kg/h)
- 215:分段電源斜率限制器
- 216:蒸發器電源估計器
- 217:加熱器電源估計器
- 218:恆定儲備電源
- 219:成分計算器
- 220:電源模組
- 221:分段電流指令
- 300:實例加熱器構形
- 400:設定點產生器
- 411:目標操作溫度
- 412:讀回溫度值
- 413:最小設定點
- 414:最大設定點
- 415:速率限制器

416:次級限制器

500:加熱器控制器

511:溫度控制模組

512:電源限制器模組

565:電源計算器

575:低通濾波器

590:電源模組

600:電源控制器

800:使用者控制板

## 【發明申請專利範圍】

### 【請求項1】

一種用於一固態氧化物電解器電池(SOEC)系統之控制器，該控制器經構形以：

接收一目標操作溫度；

接收一讀回溫度值；及

輸出一溫度設定點指令至複數個加熱器中之各者。

### 【請求項2】

如請求項1之控制器，其中該設定點指令被輸出至一空氣加熱器。

### 【請求項3】

如請求項1之控制器，其中該設定點指令被輸出至一熱箱加熱器。

### 【請求項4】

如請求項1之控制器，其中該設定點指令被輸出至一蒸汽加熱器。

### 【請求項5】

如請求項1之控制器，其中該設定點指令被輸出至一蒸發器。

### 【請求項6】

如請求項1之控制器，其中各加熱器包含一加熱器控制器及一電源控制器。

### 【請求項7】

如請求項1之控制器，其中該控制器經構形以自一室溫上升至一熱箱之一目標操作溫度。

### 【請求項8】

如請求項1之控制器，其中該控制器具有一狀態機以協調與一內部蒸

汽模組相關之組件，該控制器具有一關閉狀態、一加熱狀態及一受控流量狀態。

**【請求項9】**

如請求項1之控制器，其中該複數個加熱器中之各加熱器接收一各自的設定點。

**【請求項10】**

一種控制一固態氧化物電解器電池(SOEC)系統之方法，該方法包括：

接收一目標操作溫度；

接收一讀回溫度值；及

輸出一溫度設定點指令至複數個加熱器中之各者。

**【請求項11】**

如請求項10之方法，其中該設定點指令被輸出至一空氣加熱器。

**【請求項12】**

如請求項10之方法，其中該設定點指令被輸出至一熱箱加熱器。

**【請求項13】**

如請求項10之方法，其中該設定點指令被輸出至一蒸汽加熱器。

**【請求項14】**

如請求項10之方法，其中該設定點指令被輸出至一蒸發器。

**【請求項15】**

如請求項10之方法，其中各加熱器包含一加熱器控制器及一電源控制器。

**【請求項16】**



如請求項10之方法，其中一控制器經構形以自一室溫上升至一熱箱之一目標操作溫度。

**【請求項17】**

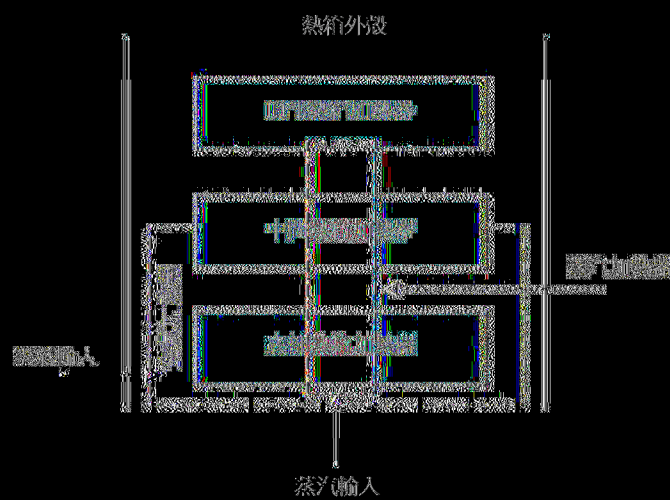
如請求項10之方法，其中一控制器具有一狀態機以協調與一內部蒸汽模組相關之組件，該控制器具有一關閉狀態、一加熱狀態及一受控流量狀態。

**【請求項18】**

如請求項10之方法，其中該複數個加熱器中之各加熱器接收一各自的設定點。







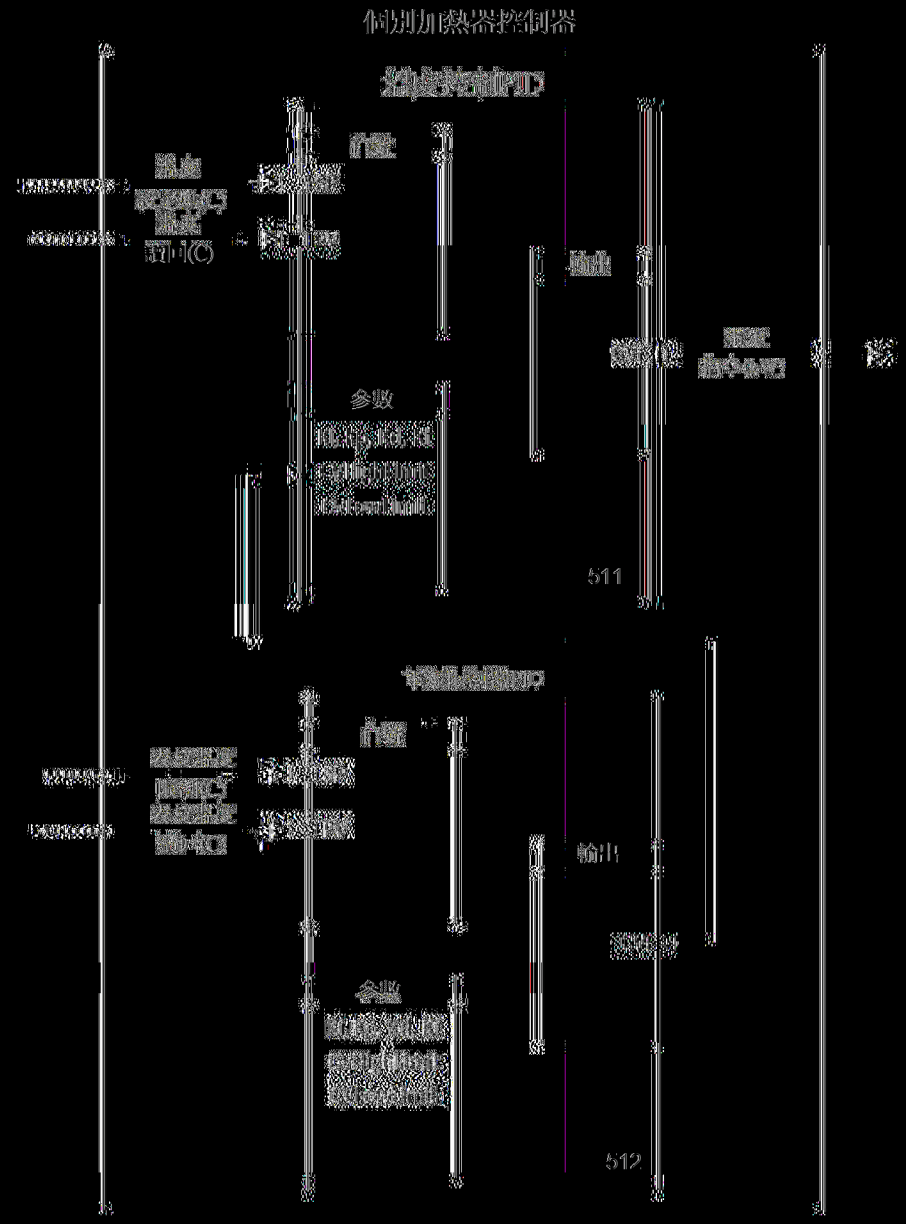
300

(同3)



400

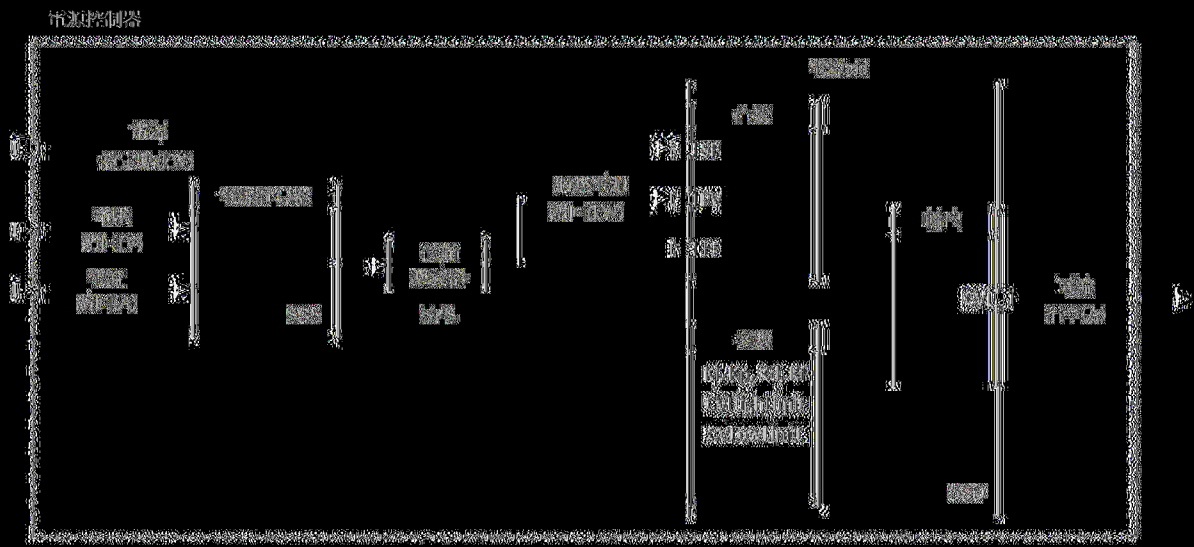
(14)



500

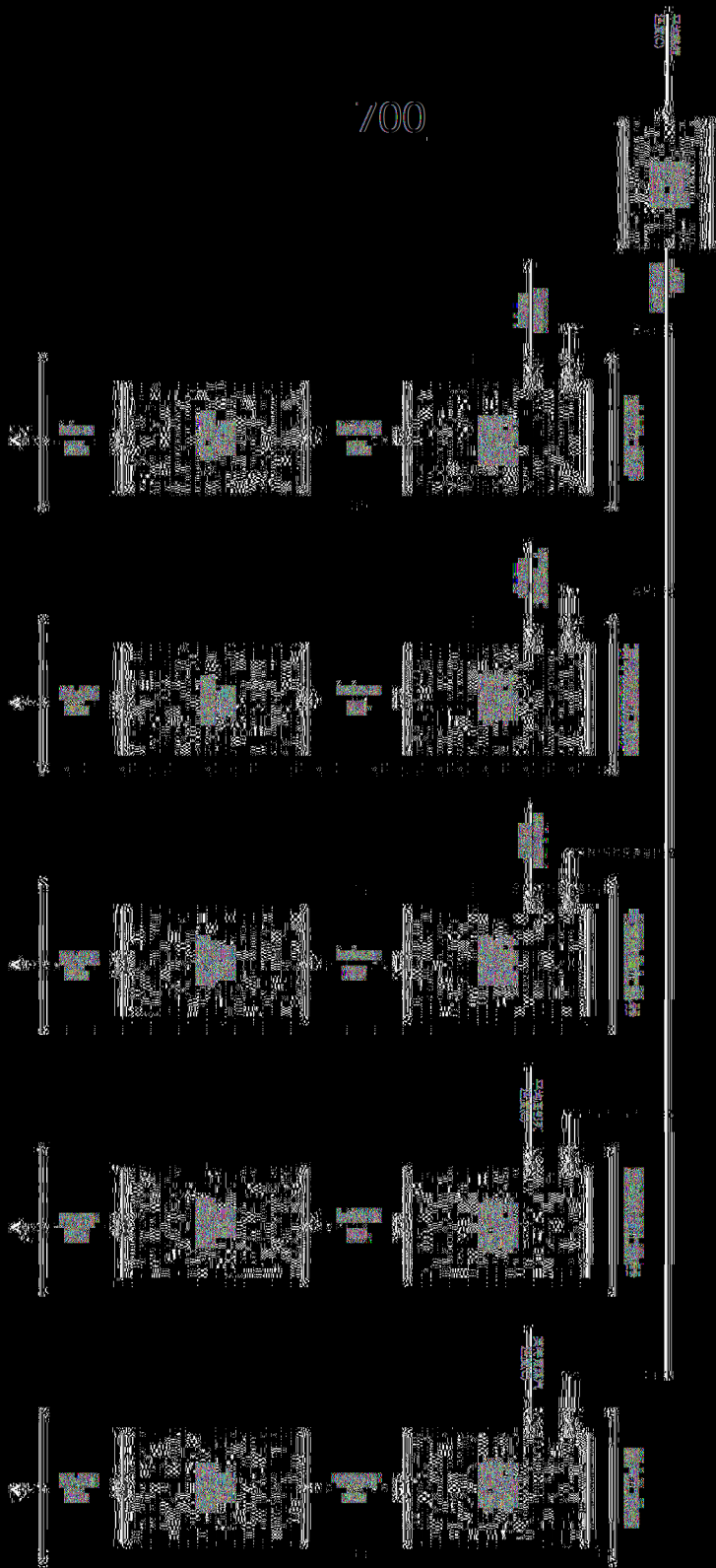
(圖5)

500



(圖6)

700



【(圖)】



800



〔圖8〕