



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I663771 B

(45) 公告日：中華民國 108 (2019) 年 06 月 21 日

(21) 申請案號：104104615

(22) 申請日：中華民國 104 (2015) 年 02 月 11 日

(51) Int. Cl. : **H01M8/04 (2016.01)**

(30) 優先權：2014/02/12 美國 61/938,827

(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：波勒汀 艾恩 BALLANTINE, ARNE (US)；古納森 雷加納森 GURUNATHAN,  
RANGANATHAN (IN)；帕斯維 布拉莎德 PMSVSV, PRASAD (IN)；維夏華賈  
拉 安尼庫瑪 VISHNUVARJULA, ANILKUMAR (IN)

(74) 代理人：陳長文

(56) 參考文獻：

TW I300278

審查人員：謝文瑜

申請專利範圍項數：31 項 圖式數：11 共 59 頁

(54) 名稱

多個燃料電池和電力電子供給負載並聯以允許整合電化學阻抗頻譜 (EIS) 之燃料電池系統之結構及方法

STRUCTURE AND METHOD FOR FUEL CELL SYSTEM WHERE MULTIPLE FUEL CELLS AND POWER ELECTRONICS FEED LOADS IN PARALLEL ALLOWING FOR INTEGRATED ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY ("EIS")

(57) 摘要

各項實施例之系統、方法及裝置能夠藉由將諸如燃料電池堆疊段之電化學裝置並聯連接至一共同負載及/或匯流排之電力電子對該等電化學裝置執行電化學阻抗頻譜(「EIS」)。在一實施例中，該等電力電子可補償在 EIS 期間產生之任何漣波，使得在該共同負載及/或匯流排處未實現漣波。

Systems, methods, and devices of the various embodiments enable electrochemical impedance spectroscopy ("EIS") to be performed on electrochemical devices, such as fuel cell stack segments, by power electronics connecting the electrochemical devices in parallel to a common load and/or bus. In an embodiment, the power electronics may compensate for any ripple generated during EIS such that no ripple is realized at the common load and/or bus.

指定代表圖：

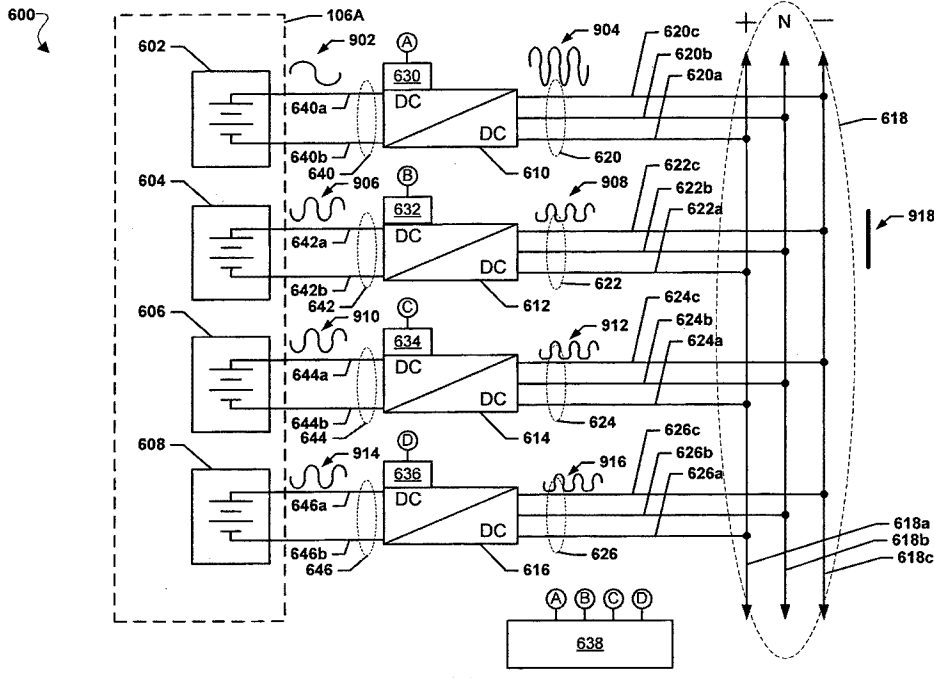


圖9

符號簡單說明：

106A . . . 燃料電池/  
燃料電池段/電力模組  
之部分

600 . . . 系統

602 . . . 電化學裝置

604 . . . 電化學裝置

606 . . . 電化學裝置

608 . . . 電化學裝置

610 . . . 電力電子

612 . . . 電力電子

614 . . . 電力電子

616 . . . 電力電子

618 . . . DC 匯流排

618a . . . 正線

618b . . . 中性線

618c . . . 負線

620 . . . 輸出連接

620a . . . 正輸出連  
接

620b . . . 中性輸出  
連接

620c . . . 負輸出連  
接

622 . . . 輸出連接

622a . . . 正輸出連  
接

622b . . . 中性輸出  
連接

622c . . . 負輸出連  
接

624 . . . 輸出連接

624a . . . 正輸出連  
接

624b . . . 中性輸出  
連接

624c . . . 負輸出連  
接

626 . . . 輸出連接

- 626a . . . 正輸出連接
- 626b . . . 中性輸出連接
- 626c . . . 負輸出連接
- 630 . . . 控制器
- 632 . . . 控制器
- 634 . . . 控制器
- 636 . . . 控制器
- 638 . . . 中央控制器
- 640 . . . 輸入連接
- 640a . . . 正輸入連接
- 640b . . . 負輸入連接
- 642 . . . 輸入連接
- 642a . . . 正輸入連接
- 642b . . . 負輸入連接
- 644 . . . 輸入連接
- 644a . . . 正輸入連接
- 644b . . . 負輸入連接
- 646 . . . 輸入連接
- 646a . . . 正輸入連接
- 646b . . . 負輸入連接
- 902 . . . 經注入波形/測試波形
- 904 . . . 連波
- 906 . . . 經注入波形/彌補波形
- 908 . . . 彌補連波
- 910 . . . 經注入波形/彌補波形

912 . . . 彌補漣波

914 . . . 經注入波  
形/彌補波形

916 . . . 彌補漣波

918 . . . 穩定 DC 電  
壓

A . . . 連接

B . . . 連接

C . . . 連接

D . . . 連接

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】

多個燃料電池和電力電子供給負載並聯以允許整合電化學阻抗頻譜(EIS)之燃料電池系統之結構及方法

STRUCTURE AND METHOD FOR FUEL CELL SYSTEM WHERE MULTIPLE FUEL CELLS AND POWER ELECTRONICS FEED LOADS IN PARALLEL ALLOWING FOR INTEGRATED ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY (“EIS”)

## [相關申請案的交叉參考]

本申請案主張於2014年2月12日申請之標題為「Structure and Method for Fuel Cell System Where Multiple Fuel Cells and Power Electronics Feed Loads in Parallel Allowing for Integrated Electrochemical Impedance Spectroscopy (“EIS”)」之美國臨時專利申請案第61/938,827號之優先權利，該案之全文以引用的方式併入本文中。

## 【先前技術】

資訊科技(「IT」)負載通常部署於機架(rack)或機櫃(cabinet)中，現今在大部分市場中每機架平均4 KW至6 KW。科技使機架愈來愈密緻，每機架高於40 KW，且對於高效能運算應用甚至更高。隨著葉片(blade)、重儲存(heavy storage)及網路連結因行動性而整合，在8 KW至35 KW之範圍內之應用變得愈來愈風行。

雲端運算允許利用更分散的組態且更佳地利用現有資料中心、公有雲端及以允許企業或中小企業(small and medium business, SMB)市場(例如，藉由針對雲端消費者允許「一切皆服務(Everything as a Service)」之利用方式)之最佳操作之一方式產生之新私有雲端。「基

礎架構即服務」模型更佳同步至商業要求，因此，在市場中需要將以最佳成本允許總體較快上市時間之此基礎架構之建置區塊。

### 【發明內容】

各項實施例之系統、方法及裝置能夠藉由將諸如燃料電池堆疊段之電化學裝置並聯連接至一共同負載及/或匯流排之電力電子對該等電化學裝置執行電化學阻抗頻譜(「EIS」)。在一實施例中，該等電力電子可補償在EIS期間產生之任何漣波，使得在該共同負載及/或匯流排處未實現漣波。

### 【圖式簡單說明】

圖1係繪示可搭配例示性實施例一起使用之一燃料電池系統之一方塊圖。

圖2係可搭配例示性實施例一起使用之一模組化燃料電池系統包殼之一等角視圖。

圖3係繪示可搭配例示性實施例一起使用之一熱匣之一示意性程序流程圖。

圖4係圖2之模組化燃料電池系統之一熱匣之一等角視圖。

圖5係圖2之模組化燃料電池系統之外殼之照片。

圖6係根據一實施例之一系統之一方塊圖。

圖7A及圖7B係繪示一DC匯流排上隨時間之抵銷漣波之圖表。

圖8係繪示用於抵銷由一測試波形引起之至一DC匯流排之漣波之一實施例方法之一程序流程圖。

圖9係根據一實施例繪示經注入波形及所得抵銷漣波之一系統之一方塊圖。

圖10係繪示用於判定一燃料電池段之一阻抗回應之一實施例方法之一程序流程圖。

圖11係根據另一實施例之一系統之一方塊圖。

**【實施方式】**

參考圖1，如以全文引用的方式併入本文中之美國專利第13/937,312號中所描述，一例示性燃料電池系統包含：一DC負載102，諸如一資訊科技(IT)負載(亦即，在一IT系統中操作之裝置，其可包含以下之一或多者：(若干)電腦、(若干)伺服器、(若干)數據機、(若干)路由器、(若干)機架、電力供應連接及一資料中心環境中發現之其他組件)；一輸入/輸出模組(IOM) 104；及一或多個電力模組106。

IOM 104可包括一或多個電力調節組件。該等電力調節組件可包含：用於將DC電力轉換為AC電力之組件，諸如一DC/AC轉換器104A(例如，以全文引用的方式併入本文中之美國專利第7,705,490號中描述之一DC/AC轉換器)；用於至電網之AC電力輸出之電連接器；用於管理電暫態之電路；一系統控制器(例如，一電腦或專用控制邏輯裝置或電路)等。該等電力調節組件經設計以將來自燃料電池模組之DC電力轉換為不同AC電壓及頻率。可提供208 V、60 Hz；480 V、60 Hz；415V、50 Hz及其他共同電壓及頻率之設計。

各電力模組106機櫃經組態以容置一或多個熱匣。各熱匣含有一或多個燃料電池堆疊或行106A(大體上稱為「段」)，諸如具有由導電互連板分離之陶瓷氧化物電解質之一或多個固態氧化物燃料電池堆疊或行。亦可使用其他燃料電池類型，諸如PEM、熔融碳酸鹽、磷酸等。

燃料電池通常組合成稱為「堆疊」之單元，其中燃料電池串聯電連接且由導電互連件(諸如用作互連件之氣體分離器板)分離。一燃料電池堆疊在其端部上可含有導電端板。一燃料電池堆疊之廣義係所謂的燃料電池段或行，其可含有串聯連接之一或多個燃料電池堆疊(例如，其中一堆疊之端板電連接至下一堆疊之一端板)。一燃料電池

段或行可含有自該段或行輸出直流至一電力調節系統之電引線。一燃料電池系統可包含一或多個燃料電池行，該一或多個燃料電池行之各者可含有一或多個燃料電池堆疊，諸如固態氧化物燃料電池堆疊。

燃料電池堆疊對於燃料可為內部歧管式且對於空氣可為外部歧管式，其中僅燃料入口及排放升流管(exhaust riser)延伸穿過燃料電池層中及/或燃料電池之間的互連板中之開口，如美國專利第7,713,649號中所描述，該案以全文引用的方式併入本文中。燃料電池可具有一交叉流(其中空氣及燃料流在各燃料電池中之電解質之相對側上大致彼此垂直)、逆向流平行(其中空氣及燃料流在各燃料電池中之電解質之相對側上但在相反方向上大致彼此平行)或同向流平行(其中空氣及燃料流在各燃料電池中之電解質之相對側上在相同方向上大致彼此平行)組態。

電力模組亦可包括其他直流發電機，諸如太陽能電池、風力渦輪機、地熱或水力發電機。

(該等)燃料電池段106A可藉由定位於模組106中之一或多個DC/DC轉換器106B連接至諸如一分離DC匯流排之一或多個DC匯流排112。DC/DC轉換器106B可定位於燃料電池系統中之任何處，例如定位於IOM 104中而非電力模組106中。

系統視情況亦可包含一能量儲存模組108，該能量儲存模組108包含一儲存裝置，諸如一組超級電容器、電池、飛輪等。儲存裝置亦可使用如圖1中所示之一或多個DC/DC轉換器連接至DC匯流排112。或者，儲存裝置可定位於電力模組106中及/或連同IT負載102一起定位。

圖2及圖5繪示美國專利第8,440,362號中描述之一例示性模組化燃料電池系統，該案以全文引用的方式併入本文中。

模組化系統可含有上文以及於2007年1月22日申請且標題為

「Modular Fuel Cell System」之美國專利申請案第11/656,006號(該案以全文引用的方式併入本文中)中描述之模組及組件。燃料電池系統包殼10之模組化設計提供靈活的系統安裝及操作。模組允許經安裝發電容量之按比例調整、可靠發電、燃料處理之靈活性及以一單一設計設定之電力輸出電壓及頻率之靈活性。模組化設計導致具有非常高可用性及可靠性之一「永遠開啟(always on)」單元。此設計亦提供按比例放大之一容易手段且滿足消費者的具體安裝要求。模組化設計亦允許使用可用燃料及可按消費者及/或按地理區域變化之所需電壓及頻率。

模組化燃料電池系統包殼10包含複數個電力模組外殼12 (含有一燃料電池電力模組組件70，其中外殼12及其組件70在圖1中共同標記為106)、一或多個燃料輸入(亦即，燃料處理)模組外殼16及一或多個電力調節(亦即，電輸入)模組外殼18 (其中外殼及其內容物在圖1中標記為104且稱為「IOM」)。例如，系統包殼可包含任何所要數目個模組，諸如2個至30個電力模組，例如6個至12個電力模組。圖2繪示在一共同基座20上含有六個電力模組(一系列側對側堆疊之六個模組)、一燃料處理模組及一電力調節模組之一系統包殼10。各模組可包括其自身之機櫃或外殼。或者，如下文將更詳細描述，可將電力調節(亦即，IOM)及燃料處理模組組合成定位於一機櫃或外殼14中之一單一輸入/輸出模組。為簡潔起見，各外殼12、14、16、18在下文將稱為「模組」。

雖然展示一系列電力模組12，但系統可包括一系列以上模組12。例如，系統可包括兩列背對背堆疊之電力模組。

各電力模組12經組態以容置一或多個熱匣13。各熱匣含有一或多個燃料電池堆疊或行(為清楚起見並未展示)，諸如具有由導電互連板分離之陶瓷氧化物電解質之一或多個固態氧化物燃料電池堆疊或

行。亦可使用其他燃料電池類型，諸如PEM、熔融碳酸鹽、磷酸等。

模組化燃料電池系統包殼10亦含有一或多個輸入或燃料處理模組16。此模組16包含一機櫃，該機櫃含有用於燃料之預處理之組件，諸如脫硫器床(desulfurizer bed)。燃料處理模組16可經設計以處理不同類型的燃料。例如，可在相同機櫃或單獨機櫃中提供一柴油燃料處理模組、一天然氣燃料處理模組及一乙醇燃料處理模組。可在各模組中提供針對一特定燃料定製的一不同床組合物。(該等)處理模組16可處理選自以下各者之以下燃料之至少一者：自一管線提供之天然氣、壓縮天然氣、甲烷、丙烷、液化石油氣、汽油、柴油、家用燃油、煤油、JP-5、JP-8、航空燃料、氫氣、氨氣、乙醇、甲醇、合成氣體、生物氣體、生物柴油及其他適合含烴燃料或含氫燃料。若需要，可將一重組器17定位於燃料處理模組16中。或者，若期望將重組器17與(若干)燃料電池堆疊熱整合，則可將一單獨重組器17定位於一各自電力模組12之各熱匣13中。此外，若使用內部重組燃料電池，則可完全省略一外部重組器17。

模組化燃料電池系統包殼10亦含有一或多個電力調節模組18。電力調節模組18包含一機櫃，該機櫃含有用於將燃料電池堆疊所產生的DC電力轉換為AC電力之組件(例如，美國專利第7,705,490號中描述之DC/DC及DC/AC轉換器，該案以全文引用的方式併入本文中)；用於至電網之AC電力輸出之電連接器；用於管理電暫態之電路；一系統控制器(例如，一電腦或專用控制邏輯裝置或電路)。電力調節模組18可經設計以將來自燃料電池模組之DC電力轉換為不同AC電壓及頻率。可提供208V、60Hz；480V、60Hz；415V、50Hz及其他共同電壓及頻率之設計。

燃料處理模組16及電力調節模組18可容置於一輸入/輸出機櫃14中。若提供一單一輸入/輸出機櫃14，則模組16及18可垂直(例如，電

力調節模組18組件處在燃料處理模組16脫硫器罐或床之上)或並排定位於機櫃14中。

如圖2中之一例示性實施例中所示，針對一系列之六個電力模組12提供一輸入/輸出機櫃14，其等側對側線性地配置於輸入/輸出機櫃14之一側上。該列模組可經定位而例如鄰近於系統提供電力之一建築物(例如，其中模組之機櫃之背部面向建築物壁)。雖然展示一系列電力模組12，但系統可包括一系列以上模組12。例如，如上文提及，系統可包括背對背堆疊之兩列電力模組。

容易按比例調整電力模組12之線性陣列。例如，取決於建築物或由燃料電池系統10服務之其他設施之電力需求，可提供更多個或更少個模組12。亦可以其他比率提供電力模組12及輸入/輸出模組14。例如，在其他例示性實施例中，更多個或更少個電力模組12可經提供而鄰近於輸入/輸出模組14。此外，可由一個以上輸出/輸出模組14(例如，具有一單獨燃料處理模組16及電力調節模組18機櫃)伺服支援功能。另外，雖然在一實施例中，輸入/輸出模組14處在該列電力模組12之端部，但其亦可定位於一系列電力模組12之中心。

模組化燃料電池系統包殼10可以易於維修(servicing)系統之一方式組態。常規或高服務組件(諸如消耗性組件)之全部者可放置於一單一模組中以減少服務人員所需之時間量。例如，可將一天然氣燃料系統之脫硫器材料放置於一單一模組(例如，一燃料處理器模組16或一組合輸入/輸出模組14機櫃)中。此將為在例行維護期間可接達之唯一模組機櫃。因此，可在不敞開其他模組機櫃且不維修、修復或移除其他模組之情況下維修、修復或自系統移除各模組12、14、16及18。

例如，如上文所描述，包殼10可包含多個電力模組12。當至少一電力模組12離線時(亦即，離線模組12中之熱匣13中之堆疊未產生電力)，剩餘電力模組12、燃料處理模組16及電力調節模組18(或組合

輸入/輸出模組14)未離線。此外，燃料電池包殼10可含有一個以上各類型的模組12、14、16或18。當一特定類型的至少一模組離線時，相同類型的剩餘模組未離線。

因此，在包括複數個模組之一系統中，模組12、14、16或18之各者可在電力上斷開、自燃料電池包殼10移除及/或在不停止系統中之其他模組之操作之情況下維修或修復，從而允許燃料電池系統繼續產生電力。在一熱匣13中之一燃料電池堆疊發生故障或離線以用於維修之情況下，整個燃料電池系統不必關機。

電力模組12及輸入/輸出模組14之各者包含一門30 (例如，入孔、通路板(access panel)等)以允許接達模組之內部組件(例如，進行維護、修復、更換等)。根據一實施例，模組12及14配置成僅在各機櫃之一面上具有門30之一線性陣列，從而允許一列連續系統在端部處彼此抵靠而安裝。以此方式，可用額外模組12或14及基座20調整燃料電池包殼10之大小及容量，其中對於現有模組12及14以及基座20需要最小重新配置。若需要，模組14之門可在側上而非在機櫃之前面。

門30可配合一實質上垂直且接著實質上水平擺動(例如，「鷗翼」式)而敞開。換言之，門30藉由向上且接著在一實質上水平方向上至少部分在包殼10之頂部上方移動而敞開。此實施例之術語實質上垂直及實質上水平包含0至30度之一偏差，諸如分別自確切垂直及水平方向之0度至10度之偏差。

門30用複數個獨立機械臂安裝至模組12或14之包殼或機櫃10之壁上。在敞開位置中，門30之上部分可定位於包殼或機櫃10上方，且門之下部分可視情況懸垂於包殼10之開口之上。在此組態中，門30在敞開時因門之下部分懸垂於燃料電池系統包殼10之上而為一使用者提供雨雪保護。或者，在敞開位置中，整個門30可定位於包殼10上方。

圖3係展示通過組件之各種流之模組12及熱匣31組件之一示意性

程序流程圖表示。在圖3中所繪示之組態中，可不存在至ATO 310之燃料及空氣輸入。可不將外部天然氣或另一外部燃料供給至ATO 310。代替性地，將來自(若干)燃料電池堆疊39之熱燃料(陽極)排放流部分再循環至ATO中作為ATO燃料入口流。同樣地，不存在至ATO中之外界空氣輸入。代替性地，將來自(若干)燃料電池堆疊39之熱空氣(陰極)排放流提供至ATO中作為ATO空氣入口流。

此外，燃料排放流在定位於熱匣1中之一分流器3107中分流。分流器3107定位於陽極復熱器(例如，燃料熱交換器) 3137之燃料排放出口與陽極冷卻器3100 (例如，空氣預熱器熱交換器)之燃料排放入口之間。因此，燃料排放流在進入陽極冷卻器3100之前在混合器3105與ATO 310之間分流。因為燃料排放流尚未與陽極冷卻器3100中之空氣入口流交換熱，所以與先前技術相比，此允許將更高溫度燃料排放流提供至ATO中。例如，自分流器3107提供至ATO 310中之燃料排放流可具有高於350C之一溫度，諸如350C至500C，例如，375C至425C，諸如390C至410C。此外，由於將較少量之燃料排氣提供至陽極冷卻器3100中(例如，歸因於陽極排氣在分流器3107中之分流而未將100%之陽極排氣提供至陽極冷卻器中)，故陽極冷卻器3100之熱交換面積可減小。

熱匣31含有複數個燃料電池堆疊39，諸如固態氧化物燃料電池堆疊(其中該堆疊之一固態氧化物燃料電池含有：陶瓷電解質，諸如氧化釷穩定化氧化鋯(YSZ)或氧化釷穩定化氧化鋯(SSZ)；陽極電極，諸如鎳-YSZ或Ni-SSZ金屬陶瓷；及陰極電極，諸如鑪錒錳礦(LSM))。堆疊39可以複數個行或段配置在彼此上方。

熱匣31亦含有一蒸汽產生器3103。蒸汽產生器3103透過導管330A提供有來自諸如水槽或水管(亦即，一連續水供應)之水源3104之水，且將水轉換為蒸汽。蒸汽透過導管330B自產生器3103提供至混

合器3105，且在混合器3105中與堆疊陽極(燃料)再循環流混合。混合器3105可定位於熱匣31之熱匣內部或外部。較佳地，如圖3中示意性地展示，將增濕之陽極排放流與混合器3105下游之燃料入口管線或導管329中之燃料入口流組合。或者，若需要，亦可將燃料入口流直接提供至混合器3105中，或可將該蒸汽直接提供至燃料入口流中，及/或可將陽極排放流直接提供至燃料入口流中，接著使組合燃料流增濕。

蒸汽產生器3103係由在導管3119中與蒸汽產生器3103成熟交換關係來傳遞之熱ATO 310排放流加熱。

系統如下般操作。將燃料入口流(諸如烴流(例如天然氣))提供至燃料入口導管329中，且使其通過定位於熱匣外部之一催化分壓氧化(CPO<sub>x</sub>)反應器3111。在系統起動期間，亦透過CPO<sub>x</sub>空氣入口導管3113將空氣提供至CPO<sub>x</sub>反應器3111中以催化地部分氧化燃料入口流。空氣可藉由一CPO<sub>x</sub>空氣鼓風機3114透過空氣入口導管3113而吹至CPO<sub>x</sub>反應器3111。CPO<sub>x</sub>空氣鼓風機3114可僅在起動期間操作。在穩定狀態系統操作期間，空氣流關閉(例如，藉由關斷CPO<sub>x</sub>空氣鼓風機3114電源)且CPO<sub>x</sub>反應器充當其中燃料未部分氧化之一燃料通路。因此，熱匣31可僅包括一燃料入口導管，其在起動模式及穩定狀態模式二者下透過CPO<sub>x</sub>反應器3111提供燃料。因此，不需要在穩定狀態操作期間繞過CPO<sub>x</sub>反應器之一單獨燃料入口導管。

將燃料入口流提供至燃料熱交換器(陽極復熱器)/預重組器3137中，在燃料熱交換器(陽極復熱器)/預重組器3137中其溫度藉由與堆疊39陽極(燃料)排放流之熱交換而升高。在熱交換器3137之預重組器區段中經由SMR反應預重組燃料入口流，且透過(若干)燃料入口導管321將經重組燃料入口流(其包含氫氣、一氧化碳、水蒸氣及未重組甲烷)提供至堆疊39中。燃料入口流透過堆疊39中之燃料入口升流管向

上行進通過堆疊39且在電力產生期間在堆疊39中氧化。經氧化燃料(亦即，陽極或燃料排放流)透過燃料排放升流管沿堆疊39向下行進，且接著透過燃料排放導管323A自堆疊排放至燃料熱交換器3137中。

在燃料熱交換器3137中，陽極排放流經由熱交換加熱燃料入口流。接著，陽極排放流經由燃料排放導管323B提供至一分流器3107中。陽極排放流之一第一部分經由導管(例如，狹縫)3133自分流器3107提供至ATO 310。

陽極排放流之一第二部分自分流器3107再循環至陽極冷卻器3100中且接著至燃料入口流中。例如，陽極排放流之第二部分透過導管331再循環至陽極冷卻器(亦即，空氣預熱器熱交換器)中，在陽極冷卻器中陽極排放流對來自導管333之空氣入口流預熱。接著，陽極排放流藉由陽極再循環鼓風機3123提供至混合器3105中。陽極排放流在混合器3105中藉由與自蒸汽產生器3103提供之蒸汽混合而增濕。接著，經增濕之陽極排放流經由經增濕之陽極排放流導管3121自混合器3105提供至燃料入口導管329中，在該燃料入口導管329中，其與燃料入口流混合。

空氣入口流藉由一主空氣鼓風機3125自空氣入口導管333提供至陽極冷卻器熱交換器3100中。鼓風機3125可包括用於整個系統之單一空氣流控制器，如上文所描述。在陽極冷卻器熱交換器3100中，空氣入口流藉由陽極排放流經由熱交換而加熱。接著，經加熱空氣入口流經由導管3314提供至空氣熱交換器(陰極復熱器3200)中。經加熱空氣入口流經由空氣入口導管及/或歧管325自熱交換器3200提供至(若干)堆疊39中。

空氣通過堆疊39而至陰極排放導管324中且通過導管324及混合器3801而至ATO 310中。在ATO 310中，空氣排放流氧化來自導管3133之陽極排放流之分流第一部分以產生一ATO排放流。ATO排放流

透過ATO排放導管327排放至空氣熱交換器3200中。ATO排放流在空氣熱交換器3200中經由熱交換加熱空氣入口流。接著，ATO排放流(其仍高於室溫)經由導管3119自空氣熱交換器3200提供至蒸汽產生器3103。在蒸汽產生器3103中，使用來自ATO排放流之熱以經由熱交換而將水轉換為蒸汽。接著，ATO排放流經由排放導管335而自系統移除。因此，藉由控制空氣入口鼓風機輸出(亦即，功率或速度)，可控制引入至系統中之空氣之量值(亦即，體積、壓力、速度等)。陰極(空氣)及陽極(燃料)排放流係用作各自ATO空氣及燃料入口流，因此消除對一單獨ATO空氣及燃料入口控制器/鼓風機之需要。此外，由於ATO排放流係用以加熱空氣入口流，故藉由鼓風機3125對導管333中之單一空氣入口流之速率之控制可用以控制堆疊39及ATO 310之溫度。

因此，如上文所描述，藉由使用一可變速度鼓風機3125及/或一控制閥來改變導管333中之主空氣流以維持堆疊39溫度及/或ATO 310溫度。在此情況中，經由鼓風機3125或閥之主空氣流速率控制充當一主系統溫度控制器。此外，可藉由改變燃料利用率(例如，由(若干)堆疊39產生之電流對提供至該(若干)堆疊39之燃料入口流之比率)來控制ATO 310溫度。最後，可藉由一可變速度陽極再循環鼓風機3123及/或一控制閥控制導管331及3117中之陽極再循環流，以控制至ATO 310之陽極排氣與用於陽極再循環至混合器3105及燃料入口導管329中之陽極排氣之間的分流。

如圖4中所示，現場可更換電力模組組件(PMC) 70包含熱匣子系統13，諸如圖2中所示之圓柱形熱匣13。熱匣13含有燃料電池堆疊及熱交換器總成。PMC 70亦包含：一框架71，其支撐廠內其他系統(BOP)子系統，包含鼓風機、閥及控制板等(為清楚起見並未展示)；及一可移除支撐件72(諸如叉式提升軌)，其支撐熱匣及該框架。支撐件72允許PMC 70自電力模組12機櫃移除而作為一單一單元或總成。

亦可使用其他組態。例如，熱匣13可具有除圓柱形外之一形狀，諸如多邊形等。支撐件72可包括一平台而非軌。框架可具有一不同組態，或代替性地可將BOP組件安裝至熱匣13及/或支撐件72上而完全省略框架。PMC 70在尺寸上小於電力模組12中之開口(例如，該開口由門30閉合)。另外，PMC 70可包含一或多個通氣孔81以將氣體(諸如空氣)自PMC及模組12內排放或通風至外部環境。PMC 70亦可包含一或多個通風風扇或鼓風機80，諸如由一交流馬達驅動之一通風風扇，其可迫使氣體(諸如空氣及/或ATO排氣)離開PMC 70，諸如離開一或多個通氣孔81。

為最大化燃料電池堆疊(諸如上述電力模組12內之燃料堆疊)之效率及/或壽命，必須維持適當操作條件。例如，若燃料系統使用過多或過少燃料或一燃料電池堆疊之個別燃料電池之溫度偏離一較佳溫度範圍，則可導致無效率操作。為維持適當操作條件，期望持續監測且調整燃料電池系統、其支援設備(舉例而言，諸如鼓風機、泵浦、閥等之支援設備)及連接至該燃料電池系統之周邊裝置。

各項實施例之系統、方法及裝置能夠藉由將電化學裝置並聯連接至一共同負載及/或匯流排之電力電子對該等電化學裝置執行電化學阻抗頻譜(「EIS」)(亦稱為AC阻抗頻譜)。電化學裝置可包含燃料電池堆疊段、電池組電池、電解電池、電化學泵浦電池(例如，氫氣分離器)，或可由EIS偵測之任何其他裝置。

EIS能夠藉由以不同的取樣頻率量測跨一電化學裝置之一電壓或電流而判定該電化學裝置之總體阻抗。例如，藉由快速切換連接至電化學裝置之一線以裝載及卸載該電化學裝置，可在該線上產生經選定以達成不同的取樣頻率之一測試波形，諸如具有大約1 Hz之振盪之一波形，藉此將該測試波形注入至該電化學裝置。測試波形可為一正弦波或經選定以達成所要取樣頻率之其他類型波。可以取樣頻率之各者

判定電化學裝置之一電壓或電流及所得相位角，且使用EIS將其轉換為阻抗。

可使用奈奎斯特圖(Nyquist plot)或波德圖(Bode plot)以圖形表示EIS程序之結果(例如，在不同頻率下之阻抗)，且可基於電化學裝置之阻抗回應而判定電化學裝置之特性。藉由比較所量測之電化學裝置之阻抗回應與具有已知特性之電化學裝置之阻抗回應之已知特徵，可識別所量測裝置之特性。可至少部分基於阻抗回應而判定之電化學裝置之特性包含燃料狀況(例如，燃料利用率)、空氣狀況(例如，一空氣利用率)、觸媒狀況(例如，陽極觸媒塗層之破裂)及水狀況(例如，PEM燃料電池膜水淹(water flooding))。基於電化學裝置之特性，可調整電化學裝置之一設定。例如，基於燃料利用率及/或水流速率，可調整提供至電化學裝置之燃料之至燃料入口流中之一燃料流及/或水流設定。另外，可比較電化學裝置之經判定特性與一故障臨限值，且在特性超過故障臨限值時，可指示電化學裝置之一故障模式，諸如一燃料耗盡狀態、一觸媒中毒狀態或一水淹狀態。

在一實施例中，連接至一群組之兩個或更多個電化學裝置之各電化學裝置之電力電子可補償在EIS期間產生之任何漣波，使得在共同負載及/或匯流排處未實現漣波或一降低的漣波。在一電力電子將測試波形注入至其各自電化學裝置中時，可將來自該電力電子之一所得漣波施加至負載及/或匯流排。為抵消來自執行EIS監測之電力電子之此漣波，可藉由其他電力電子之一或多者產生一或多個彌補(或抵銷)漣波。為產生該或該等彌補(或抵銷)漣波，當前未執行EIS監測之其他電力電子之一或多者可朝向其等各自電化學裝置注入一彌補波形，從而導致將一彌補漣波施加至並聯連接至該等電化學裝置之共同負載及/或匯流排。來自執行EIS監測之電力電子之漣波與來自一或多個其他電力電子之該或該等彌補漣波之總和可為導致負載及/或共同

匯流排處無漣波之一DC輸出。

在另一實施例中，連接至共同負載及/或匯流排之其他裝置可補償在EIS期間產生之任何漣波，使得在共同負載及/或匯流排處未實現漣波或一降低的漣波。如上文所論述，在一電力電子將測試波形注入至其各自電化學裝置中時，可將來自該電力電子之一所得漣波施加至負載及/或匯流排。為抵消來自執行EIS監測之電力電子之此漣波，可藉由一或多個其他裝置(諸如一波形產生器)產生一或多個彌補(或抵銷)漣波，且將其注入至共同負載及/或匯流排中。為產生該或該等彌補(或抵銷)漣波，一或多個其他裝置可將一彌補漣波施加至並聯連接至電化學裝置之共同負載及/或匯流排。來自執行EIS監測之電力電子之漣波與藉由其他裝置施加之該或該等彌補漣波可為導致負載及/或共同匯流排處無漣波之一DC輸出。

在一實施例中，在EIS監測期間，可將一段之阻抗判定為該段之極形式電壓對該段之極形式電流。此可能夠使用一傅立葉級數(Fourier series)計算以允許在基本頻率下分析一不完全正弦漣波，而無需計算一完全快速傅立葉變換。與使用一完全快速傅立葉變換做出之阻抗判定相比，此可增加阻抗計算之準確度且減少判定一阻抗回應所需之處理時間。

在一實施例中，能量儲存裝置可包含於連接至各電化學裝置之電力電子上。能量儲存裝置可為任何類型的能量儲存裝置，諸如電容器、超級電容器、電池組等。在各項實施例中，能量儲存裝置可處在電力電子之輸出端、輸入端或變壓器之繞組上，以儲存漣波能量及對漣波能量異相地放電。能量儲存裝置可降低傳遞至匯流排之漣波電流或消除該漣波電流。降低及/或消除源於EIS測試之漣波電流之能力可實現使用具有高於在無能量儲存裝置之情況下所使用之頻率之測試波形之EIS測試。例如，可使用具有400 Hz或高於400 Hz之頻率之測試

波形，從而極大地延伸電力電子之頻寬以產生及分析測試波形。在無能量儲存裝置之情況下，測試波形頻率之頻寬實際上可限於小於電力電子之切換頻率之頻率。在能量儲存裝置之情況下，測試波形頻率之頻寬可延伸至大於電力電子之切換頻率之頻率。

在一特定實施例中，電化學裝置可為一或多個燃料電池堆疊段，諸如一個、兩個、三個、四個或更多個燃料電池堆疊段，且電力電子裝置可為DC轉DC轉換器。燃料電池堆疊段可為固態氧化物燃料電池段、質子交換膜燃料電池段、磷酸燃料電池段、熔融碳酸鹽燃料電池段或其他類型的燃料電池段。例如，燃料電池堆疊段可為燃料電池106A之燃料電池堆疊段，且DC轉DC轉換器可為上述DC轉DC轉換器106B。

圖6係根據一實施例之一系統600之一方塊圖。系統600可包含四個電化學裝置602、604、606及608。例如，電化學裝置602、604、606及608之各者可為燃料電池之燃料電池堆疊段，其等可構成電力模組106之一部分106A。各電化學裝置602、604、606及608可經由一各自輸入連接640、642、644及646電連接至電力電子610、612、614及616之一各自電力電子。各輸入連接640、642、644及646可包括一各自正輸入連接640a、642a、644a及644b以及一各自負輸入連接640b、642b、644b及646b。在操作中，電化學裝置602、604、606及608可經由其等各自輸入連接640、642、644及646將DC電壓輸出至其等各自電力電子610、612、614及616。

電力電子610、612、614及616可為DC轉DC轉換器，例如，380伏特23安培DC轉DC轉換器。電力電子610、612、614及616之各者可分別包含各自有線或無線地連接至一中央控制器638之控制器630、632、634及636。控制器630、632、634及636可為組態有處理器可執行指令以執行用於控制其等各自電力電子610、612、614及616之操作

之處理器，且控制器638可為組態有處理器可執行指令以執行用於與電力電子610、612、614及616交換資料且經由其等各自控制器630、632、634及636控制電力電子610、612、614及616之操作之操作之一處理器。經由連接至電力電子610、612、614及616之控制器630、632、634、636與控制器638之間的連接A、B、C及D，控制器638可有效地連接至電力電子610、612、614及616且控制電力電子610、612、614及616之操作。

電力電子610、612、614及616可藉由其等各自輸出連接620、622、624及626並聯連接至一DC匯流排618。在一實施例中，DC匯流排618可為由一正線618a、一中性線618b及一負線618c組成之一三相匯流排，且各自輸出連接620、622、624及626可包含：各自正輸出連接620a、622a、624a及626a；各自中性輸出連接620b、622b、624b及626b；及各自負輸出連接620c、622c、624c及626c。在操作中，電力電子610、612、614及616可經由其等各自輸出連接620、622、624及626將DC電壓輸出至匯流排618。在一實施例中，電力電子610、612、614及616可為經組態以自其等各自電化學裝置602、604、606及608接收正及負DC輸入，且經由其等各自正輸出連接620a、622a、624a及626a、各自中性輸出連接620b、622b、624b及626b以及各自負輸出連接620c、622c、624c及626c將正DC、負DC及中性輸出輸出至匯流排618之三相轉換器。在一替代實施例中，電力電子610、612、614及616之各者可由雙二相轉換器組成。該等二相轉換器之第一者之正輸出可連接至匯流排618之正線618a，且該等二相轉換器之第二者之負輸出可連接至匯流排618之負線618c。該等二相轉換器之第一者之負輸出及該等二相轉換器之第二者之正輸出可一起連接至匯流排618之中性線618b。

在一實施例中，電力電子610、612、614及616可各經組態以對

其等各自電化學裝置602、604、606及608執行EIS監測。控制器638可針對電化學裝置602、604、606或608之一者選擇用於EIS監測之一測試波形，且可控制該電化學裝置602、604、606或608之該電力電子610、612、614或616以將選定測試波形注入至各自輸入連接640、642、644或646上。例如，控制器638可將選定測試波形之一指示發送至電力電子610之控制器630以引起該電力電子610處之一開關之斷開及閉合，以經由連接至電化學裝置602之輸入連接640上之脈寬調變產生該選定測試波形。注入測試波形之電力電子610、612、614或616可經組態以監測其各自電化學裝置602、604、606或608之所得阻抗回應，且經由其各自控制器630、632、634或636，可將經監測阻抗回應之一指示輸出至控制器638。繼續前述實例，電力電子610可監測至電化學裝置602之輸入連接640上之阻抗回應，且控制器630可對控制器638指示電化學裝置602之阻抗回應。

控制器638可使用由一電化學裝置602、604、606、608之EIS監測判定之阻抗回應來判定該電化學裝置602、604、606、608之一特性，且可基於該經判定特性而調整系統600之一設定。例如，控制器638可根據下文參考圖10進一步描述之方法1000來判定阻抗回應。控制器638可比較由一電化學裝置602、604、606、608之EIS監測判定之阻抗回應(諸如阻抗回應及/或經儲存阻抗值之一圖)與儲存於一記憶體中與已知特性相關之類似電化學裝置之阻抗回應(諸如阻抗回應及/或經儲存阻抗值之經儲存圖)。控制器638可以任何方式比較由一電化學裝置602、604、606、608之EIS監測判定之阻抗回應與經儲存阻抗回應，以識別由一電化學裝置602、604、606、608之EIS監測判定之阻抗回應與經儲存阻抗回應之間的匹配。

當控制器638判定由一電化學裝置602、604、606、608之EIS監測判定之阻抗回應與一經儲存阻抗回應之間的一匹配(例如，相同或

在某一預定變異值內)時，控制器638可將與經儲存阻抗回應相關之特性判定為各自電化學裝置602、604、606、608之特性。例如，控制器638可基於EIS監測判定電化學裝置602之燃料入口流中之一燃料利用率及/或蒸汽對碳比率，且可基於該經判定燃料利用率藉由調整鼓風機3123或燃料輸入管線329或自3104至蒸汽產生器3103中之水流來調整系統600之一燃料流設定及/或至燃料入口流中之水輸入設定。作為另一實例，控制器638可基於EIS監測判定電化學裝置604之一空氣利用率，且可基於該經判定空氣利用率藉由調整圖3中所繪示之空氣鼓風機3125來調整系統600之一空氣流設定。作為其他實例，EIS監測可能夠比較電化學裝置602、604、606或608之一經判定特性與一故障臨限值，且當特性超過故障臨限值時，可指示電化學裝置602、604、606或608之一故障模式，諸如一燃料耗盡狀態(例如，陽極處燃料不足)、陽極觸媒損害或中毒狀態(例如，藉由陽極上之碳及/或硫積累、陽極觸媒破裂等)或一水淹狀態(例如，在一PEM燃料電池中)，此可導致至系統中之燃料及/或水流被調整或可導致系統之切斷。

當藉由一各自電力電子610、612、614或616將一測試波形注入於一輸入連接640、642、644或646上以執行EIS監測時，各自輸出連接620、622、624或626上可出現一漣波。若未經補償，則來自執行EIS監測之電力電子610、612、614或616之所得漣波可引起DC匯流排618上之一非所要漣波。為防止DC匯流排618上之一漣波，可藉由注入至DC匯流排618中之其他漣波彌補或抵銷來自執行EIS監測之電力電子610、612、614或616之漣波。在一實施例中，可藉由未執行EIS監測之其他電力電子610、612、614或616之一或多者產生其他漣波。可藉由控制未執行EIS監測之其他電力電子610、612、614或616之一或多者以將一彌補波形注入至其等各自輸入連接640、642、644或646中而產生來自未執行EIS監測之其他電力電子610、612、614或616之

一或多者之漣波。可藉由控制器638選擇該或該等彌補波形，使得當在DC匯流排618處加總波形時，回應於注入該或該等彌補波形而在各自輸出連接620、622、624或626上產生之漣波抵銷由執行EIS監測之電力電子610、612、614或616引起之漣波。在另一實施例中，可將來自除電力電子610、612、614或616外之裝置之漣波注入至輸出連接620、622、624或626中，以在DC匯流排618處加總波形時抵銷由執行EIS監測之電力電子610、612、614或616引起之漣波。例如，可將一波形產生器連接至輸出連接620、622、624或626以回應於EIS監測而注入抵銷漣波。

圖7A係繪示一DC匯流排上隨時間之抵銷漣波之一圖表。由一電力電子注入至一電化學裝置之一輸入連接上之一測試波形可導致自注入測試波形之電力電子發送朝向一DC匯流排之一漣波702。由另一電力電子注入至另一電化學裝置之一輸入連接上之一彌補波形可導致自注入該彌補波形之該電力電子發送朝向DC匯流排之一漣波704。彌補波形可經選定使得漣波704與漣波702異相180度。電力電子可並聯連接至DC匯流排，且漣波702及漣波704之總和可彼此抵銷使得波形之總和係DC匯流排上之所要DC電壓706。

圖7B係繪示使用一個以上彌補波形之一DC匯流排上隨時間之抵銷漣波之另一圖表。如上文所論述，由一電力電子注入至一電化學裝置之一輸入連接上之一測試波形可導致自注入測試波形之電力電子發送朝向一DC匯流排之一漣波702。可使用三個其他電力電子產生注入至三個其他電化學裝置之輸入連接上之彌補波形。由第一其他電力電子注入至一第一其他電化學裝置之一輸入連接上之第一彌補波形可導致自注入彌補波形之該第一其他電力電子發送朝向DC匯流排之一漣波708。由第二其他電力電子注入至一第二其他電化學裝置之一輸入連接上之第二彌補波形可導致自注入彌補波形之該第二其他電力電子

發送朝向DC匯流排之一漣波710。由第三其他電力電子注入至一第三電化學裝置之一輸入連接上之第三彌補波形可導致自注入彌補波形之該第三其他電力電子發送朝向DC匯流排之一漣波712。該三個彌補波形可經選定使得漣波708、710及712之總和可抵銷漣波702，使得波形之總和係DC匯流排上之所要DC電壓706。雖然在圖7A及圖7B中繪示為具有與漣波702相同的頻率之一經產生彌補漣波704或三個彌補漣波708、710、712，但具有不同波形、不同頻率、相位、振幅等之更多個或更少個彌補漣波可經產生且注入朝向DC匯流排，只要任何彌補漣波加上自注入測試波形之電力電子發送朝向DC匯流排之漣波702之和導致無漣波之DC匯流排上之所要DC電壓706。

圖8繪示用於抵銷由一測試波形引起之至一DC匯流排之漣波之一實施例方法800。在一實施例中，可藉由一控制器(諸如控制器638)執行方法800之操作。就燃料電池堆疊段及DC轉換器論述方法800之操作，但燃料電池堆疊段及轉換器僅用作實例。其他電化學裝置及/或其他電力電子可用於方法800之各項操作中。

在方塊802中，控制器638可自複數個燃料電池堆疊段選擇一燃料電池堆疊段以進行阻抗測試。例如，可基於控管可何時及依何種順序測試燃料電池堆疊段之一測試協定來選擇燃料電池堆疊段。在方塊804中，控制器638可選擇一測試波形。測試波形可經選定以針對EIS監測產生必要振盪，諸如大約1 Hz之振盪。

在方塊806中，控制器638可判定待由選定測試波形引起之一所得漣波。如上文所論述，所得漣波可為來自注入測試波形之DC轉換器之至DC匯流排之漣波輸出。在方塊808中，控制器可識別剩餘燃料電池堆疊段。剩餘燃料電池堆疊段可為未經選定以進行阻抗測試之燃料電池堆疊段。在方塊810中，控制器638可選擇經識別剩餘燃料電池堆疊段之一部分。在一實施例中，選定部分可為全部經識別剩餘燃料

電池堆疊段。在另一實施例中，選定部分可少於全部經識別剩餘燃料電池堆疊段，諸如僅一單一經識別剩餘燃料電池堆疊段。

在方塊810中，控制器638可針對各選定剩餘燃料電池堆疊段判定一彌補波形，使得待由針對各選定剩餘燃料電池堆疊段判定之各自經判定彌補波形引起之各所得漣波之一總和抵銷待由該選定測試波形引起之經判定所得漣波。在一實施例中，各彌補波形可經產生使得所得漣波係相同的，諸如一起抵銷來自測試波形之漣波之一個、兩個、三個或更多個相等漣波。在另一實施例中，各彌補波形可經產生使得所得漣波係不同的，諸如一起抵銷來自測試波形之漣波之兩個、三個或更多個不同漣波。

在方塊812中，控制器638可控制經選定以進行阻抗測試之燃料電池堆疊段之DC轉換器以將測試波形注入至燃料電池堆疊中。例如，控制器638可將控制信號發送至DC轉換器之一控制器(例如，630、632、634或636)以引起該轉換器執行脈寬調變，以在至該燃料電池堆疊段之一輸入連接上產生測試波形。在方塊814中，控制器638可控制各選定剩餘燃料電池堆疊段之DC轉換器以將各選定剩餘燃料電池堆疊段之彌補波形注入至每一各自燃料電池堆疊段中。例如，控制器638可將控制信號發送至DC轉換器之控制器(例如，630、632、634及/或636)以引起該等轉換器執行脈寬調變，以在至其等各自燃料電池堆疊段之一輸入連接上產生彌補波形。在方塊812及814中執行之方法800之操作可同時發生，使得同時注入測試波形及彌補波形，從而導致自各個DC轉換器輸出彼此抵銷之漣波，進而導致DC匯流排上之一所要DC電壓。在方塊816中，控制器638可控制經選定以進行阻抗測試之燃料電池堆疊段之DC轉換器以回應於經注入測試波形監測燃料電池堆疊之阻抗回應。例如，控制器638可監測段之電壓及電流回應且根據下文參考圖10進一步描述之方法1000來判定阻抗。

在方塊818中，控制器638可至少部分基於阻抗回應而判定經選定以進行阻抗測試之燃料電池堆疊段之一特性。如上文所論述，控制器可使用EIS監測來標繪源於經注入測試波形之經量測阻抗之實部及虛部，且比較所標繪之阻抗與具有已知特性之燃料電池堆疊段之阻抗回應之已知特徵。具有已知特性之燃料電池堆疊段之阻抗回應之已知特徵可儲存於控制器可用之一記憶體中。具有已知特性之燃料電池堆疊段之阻抗回應之經儲存已知特徵可為：自測試健康(亦即，未受損或未降級)燃料電池堆疊段以及具有各種形式的損害(例如，陽極破裂)及/或降級(例如，在燃料耗盡模式下操作之段)之受損或降級燃料電池堆疊段導出的健康燃料電池堆疊段及受損或降級燃料電池堆疊段之經量測阻抗之實部及虛部之圖。已知特性可與儲存於記憶體中之經量測阻抗之實部及虛部之圖相關。藉由將經量測阻抗匹配於阻抗回應之已知特徵，可將燃料電池堆疊之電流特性或狀態判定為與阻抗回應之匹配已知特徵相關之該等特性。在選用方塊820中，控制器638可基於經判定特性超過一故障臨限值而指示一故障模式。例如，若經判定特性超過一故障臨限值，則可指示一燃料耗盡狀態、觸媒損害及/或中毒狀態或一水淹狀態之一故障模式。在選用方塊822中，控制器638可基於經判定特性調整燃料電池系統之一設定。例如，控制器638可基於經判定特性調整(例如，增加或減少)一燃料流、空氣流、來自燃料電池段之汲取電流及/或至燃料入口流中之水流或燃料電池系統之切斷。以此方式，諸如EIS監測之阻抗測試可用於一燃料電池系統中以基於燃料電池堆疊段之電流特性而調整燃料電池系統之操作。

圖9係上文參考圖6描述之系統600之一方塊圖，其繪示根據一實施例之經注入波形902、906、910及914以及所得抵銷漣波904、908、912及916。可將一測試波形902注入至輸入連接640中而導致至DC匯流排618之輸出連接620上之一漣波904。可將一彌補波形906注入至輸

入連接642中而導致至DC匯流排618之輸出連接622上之一彌補漣波908。可將一彌補波形910注入至輸入連接644中而導致至DC匯流排618之輸出連接624上之一彌補漣波912。可將一彌補波形914注入至輸入連接646中而導致至DC匯流排618之輸出連接626上之一彌補漣波916。漣波904、908、912及916之總和可為使得儘管AC漣波發生於輸出連接620、622、624及626上，在DC匯流排618上發生無漣波之穩定DC電壓918。雖然漣波904、908、912及916之總和可為使得無漣波之穩定DC電壓918在DC匯流排618上產生，但彌補波形906、910及914與測試波形902之總和不一定等於零。彌補漣波908、912及916可皆相同或不同。例如，彌補漣波908可為大於彌補漣波912及916之一漣波。另外，無論彌補漣波908、912及916係相同或不同，彌補波形906、910及914可不相同。雖然繪示三個彌補波形906、910及914及其等所得彌補漣波908、912及916，但可產生更少彌補波形及彌補漣波(諸如僅兩個彌補波形及所得彌補漣波或僅一彌補波形及一所得彌補漣波)來彌補漣波904。

在一替代實施例中，可藉由連接至輸出連接622、624及626且由控制器638控制之其他裝置(諸如波形產生器)而非電力電子612、614及/或616產生彌補漣波908、912及/或916。可藉由其他裝置產生彌補漣波908、912及/或916，使得漣波904、908、912及916之總和可為在DC匯流排618上無漣波之穩定DC電壓918。另外，可使用由電力電子612、614及/或616以及其他裝置(諸如額外波形產生器)產生之漣波組合來抵銷漣波904，從而導致在DC匯流排618上無漣波之穩定DC電壓918。

圖10係繪示用於判定一燃料電池段之一阻抗回應之一實施例方法1000之一程序流程圖。在一實施例中，可藉由一控制器(諸如控制器638)執行方法1000之操作。就燃料電池堆疊段及DC轉換器論述方

法1000之操作，但燃料電池堆疊段及轉換器僅用作實例。其他電化學裝置及/或其他電力電子可用於方法1000之各項操作中。在一實施例中，可結合上文參考圖8描述之方法800之操作來執行方法100之操作。

在方塊1003中，控制器638可選擇可作為擾動頻率輸出至一正弦波產生器1005之一頻率設定點( $f$ )。正弦波產生器1005可輸出一波形  $SIN(\omega t + \phi 1)$ ，其中 $\omega$ 係基本頻率( $2\pi f$ )，且 $\phi 1$ 係相位角。在操作1007中，控制器638可將輸出波形與擾動振幅相乘，且在操作1009中，控制器可添加設定為一系統設定之段之電流( $I\_Seg$ 系統設定)以產生一測試波形，可將該測試波形發送至電力電子610以引起該電力電子610將該波形注入至該段中。設定為一系統設定之段之電流可為由控制器638或另一控制器提供為段之一目標電流設定之一電流設定。雖然圖10中繪示電力電子610，但可用電力電子612、614或616之任一者替代電力電子610，且可執行類似操作以控制電力電子612、614及616以注入測試波形。

亦可將頻率設定點輸出至一正弦公式模組1011及一餘弦公式模組1013。正弦公式模組1011可輸出一波形  $SIN(\omega t + \phi 2)$ ，其中 $\omega$ 係基本頻率( $2\pi f$ )且 $\phi 2$ 係相位角，且餘弦公式模組1013可輸出一波形  $COS(\omega t + \phi 2)$ ，其中 $\omega$ 係基本頻率( $2\pi f$ )且 $\phi 2$ 係相位角。在操作1002中，控制器638可將來自正弦公式模組1011之輸出波形與段之電壓( $V\_Seg$ )相乘以判定段之虛電壓分量( $V\_Seg\_Imaginary$ )。在操作1006中，控制器638可將來自正弦公式模組1011之輸出波形與段之電流( $I\_Seg$ )相乘以判定段之虛電流分量( $I\_Seg\_Imaginary$ )。在操作1004中，控制器638可將來自餘弦公式模組1013之輸出波形與段之電壓( $V\_Seg$ )相乘以判定段之實電壓分量( $V\_Seg\_Real$ )。在操作1008中，控制器638可將來自餘弦公式模組1013之輸出波形與段之電流( $I\_Seg$ )相乘，以判定段

之實電流分量( $I_{Seg\_Real}$ )。在方塊1010及1012中，控制器分別可將段之電壓之實分量及虛分量以及段之電流之實分量及虛分量轉換為段之極形式電壓及段之極形式電流。在方塊1014中，控制器可將段之阻抗「Z」判定為段之極形式電壓對段之極形式電流。以此方式，方法1000之操作可能夠使用一傅立葉級數計算以允許在基本頻率下分析一不完全正弦漣波，而無需計算一完全快速傅立葉變換。與使用一完全快速傅立葉變換做出之阻抗判定相比，此可增加阻抗計算之準確度且減少判定一阻抗回應所需之處理時間。

圖11係根據另一實施例之一系統1100之一方塊圖。系統1100類似於圖6中所繪示之系統600且共同包含許多組件。為系統600及1100兩者所共有之該等組件在圖6及圖11中用相同數字編號且將不進行進一步描述。

系統1100類似於上文參考圖6描述之系統600，惟能量儲存裝置1102、1104、1106及1108可分別包含於電力電子610、612、614及616上除外。能量儲存裝置1102、1104、1106及1108可為任何類型的能量儲存裝置，諸如電容器、超級電容器、電池組等。在一實施例中，能量儲存裝置1102、1104、1106及1108可處在其等各自電力電子610、612、614及616之輸出端上以儲存漣波能量及對漣波能量異相地放電。由於注入至與一能量儲存裝置1102、1104、1106或1108相關聯之電力電子610、612、614或616之輸入連接中之一測試波形，藉由該能量儲存裝置1102、1104、1106或1108之異相放電可提供對至DC匯流排618之各自輸出連接620、622、624或626上之漣波電流輸出之抵銷。以此方式，能量儲存裝置1102、1104、1106或1108可降低傳遞至DC匯流排618之漣波電流或消除該漣波電流。降低及/或消除源於EIS測試之漣波電流之能力可實現使用具有高於在無能量儲存裝置1102、1104、1106或1108之情況下可使用之頻率之測試波形之EIS測試。例

如，可使用具有400 Hz或高於400 Hz之頻率之測試波形，從而極大地延伸各自電力電子610、612、614及616之頻寬以產生及分析測試波形。在無能量儲存裝置1102、1104、1106或1108之情況下，測試波形頻率之頻寬實際上可限於小於電力電子610、612、614及616之切換頻率之頻率。在能量儲存裝置1102、1104、1106或1108之情況下，測試波形頻率之頻寬可延伸至大於電力電子610、612、614及616之切換頻率之頻率。

雖然在圖11中繪示為處在其等各自電力電子610、612、614及616之輸出端上，但能量儲存裝置1102、1104、1106及1108可處在其等各自電力電子610、612、614及616之任何其他部分上以儲存漣波能量及對漣波能量異相地放電。在一替代實施例中，能量儲存裝置1102、1104、1106及1108可處在其等各自電力電子610、612、614及616之輸入端上以儲存漣波能量及對漣波能量異相地放電。在另一替代實施例中，可將一額外繞組添加至能量儲存裝置1102、1104、1106及1108之變壓器，且可將能量儲存裝置1102、1104、1106及1108連接至此額外繞組以儲存漣波能量及對漣波能量異相地放電。

前述方法描述及圖式僅提供為闡釋性實例且並非意欲需要或暗示必須依所呈現之順序執行各項實施例之步驟。如熟習此項技術者將了解，可依任何順序執行前述實施例中之步驟之順序。此外，諸如「此後」、「接著」、「其次」等之字詞並非意欲限制步驟之順序；此等字詞僅僅用以引導讀者貫穿方法之描述。

已使用一或多個圖式來描述例示性實施例。使用圖式並非意謂限於執行操作之順序。已呈現例示性實施例之前述描述以用於圖解及描述之目的。此並非意欲為詳盡性或限於所揭示之精確形式，且鑑於上文教示，修改及變動係可行的或可自所揭示實施例之實踐而獲取該等修改及變動。希望藉由本發明之隨附申請專利範圍及其等效物界定

本發明之範疇。

控制元件可使用包括處理器、記憶體及已程式化有用以執行特定功能之其他組件之運算裝置(諸如電腦)實施，或可實施於經設計以執行指定功能之處理器中。一處理器可為任何可程式化微處理器、微電腦或一或多個多處理器晶片，其等可由軟體指令(應用程式)組態以執行多種功能，包含本文中描述之各項實施例之功能。在一些運算裝置中，可提供多個處理器。通常，可在存取軟體應用程式且將其載入至處理器中之前將軟體應用程式儲存於內部記憶體中。在一些運算裝置中，處理器可包含足以儲存應用程式軟體指令之內部記憶體。

結合本文中揭示之實施例描述之各種闡釋性邏輯塊、模組、電路及演算法步驟可實施為電子硬體、電腦軟體或兩者之組合。為清楚繪示硬體與軟體之此互換性，上文已在其等功能性方面大體上描述各種闡釋性組件、區塊、模組、電路及步驟。此等功能性是否實施為硬體或軟體取決於特定應用及強加於整體系統上之設計約束。熟習此項技術者可針對各特定應用以不同的方式實施所描述之功能性，但此等實施方案決策不應解釋為引起自本發明之範疇之一脫離。

可用以下各者實施或執行用以實施結合本文中揭示之態樣進行描述之各種闡釋性邏輯、邏輯塊、模組及電路之硬體：一通用處理器、一數位信號處理器(DSP)、一特定應用積體電路(ASIC)、一場可程式化閘陣列(FPGA)或其他可程式化邏輯裝置、離散閘或電晶體邏輯、離散硬體組件或經設計以執行本文中描述之功能之其等之任何組合。一通用處理器可為一微處理器，但在替代例中，該處理器可為任何習知處理器、控制器、微控制器或狀態機。一處理器亦可實施為運算裝置之一組合，例如一DSP與一微處理器、複數個微處理器、結合一DSP核心之一或多個微處理器或任何其他此組態之一組合。或者，可藉由專用於一給定功能之電路執行一些方塊或方法。

提供所揭示實施例之先前描述以使熟習此項技術者能夠進行或使用所述實施例。在不脫離本發明之範疇之情況下，熟習此項技術者將容易明白此等實施例之各種修改，且本文中定義之一般原理可應用於其他實施例。因此，本發明並非意欲限於本文中所示之實施例，而是符合與本文中揭示之以下申請專利範圍及原理以及新穎特徵一致之最廣範疇。

### 【符號說明】

10	模組化燃料電池系統包殼/燃料電池系統/機櫃
12	電力模組外殼/電力模組
13	熱匣/熱匣子系統
14	外殼/輸入/輸出機櫃/輸入/輸出模組
16	燃料輸入模組外殼/燃料處理模組
17	重組器
18	電力調節模組外殼/電力調節模組
20	基座
30	門
31	熱匣
39	燃料電池堆疊
70	燃料電池電力模組組件/現場可更換電力模組組件 (PMC)
71	框架
72	支撐件
80	鼓風機
81	通氣孔
102	DC負載/IT負載
104	輸入/輸出模組(IOM)

106	電力模組
106A	燃料電池/燃料電池段/電力模組之部分
106B	DC/DC轉換器
108	能量儲存模組
112	DC匯流排
310	ATO
321	燃料入口導管
323A	燃料排放導管
323B	燃料排放導管
324	陰極排放導管
325	歧管
327	ATO排放導管
329	燃料入口導管/燃料輸入管線
330A	導管
330B	導管
331	導管
333	空氣入口導管
335	排放導管
600	系統
602	電化學裝置
604	電化學裝置
606	電化學裝置
608	電化學裝置
610	電力電子
612	電力電子
614	電力電子

616	電力電子
618	DC匯流排
618a	正線
618b	中性線
618c	負線
620	輸出連接
620a	正輸出連接
620b	中性輸出連接
620c	負輸出連接
622	輸出連接
622a	正輸出連接
622b	中性輸出連接
622c	負輸出連接
624	輸出連接
624a	正輸出連接
624b	中性輸出連接
624c	負輸出連接
626	輸出連接
626a	正輸出連接
626b	中性輸出連接
626c	負輸出連接
630	控制器
632	控制器
634	控制器
636	控制器
638	中央控制器

640	輸入連接
640a	正輸入連接
640b	負輸入連接
642	輸入連接
642a	正輸入連接
642b	負輸入連接
644	輸入連接
644a	正輸入連接
644b	負輸入連接
646	輸入連接
646a	正輸入連接
646b	負輸入連接
702	漣波
704	漣波
706	DC電壓
708	漣波
710	漣波
712	漣波
800	方法
802	方塊
804	方塊
808	方塊
810	方塊
812	方塊
814	方塊
816	方塊

818	方塊
820	方塊
822	方塊
902	經注入波形/測試波形
904	漣波
906	經注入波形/彌補波形
908	彌補漣波
910	經注入波形/彌補波形
912	彌補漣波
914	經注入波形/彌補波形
916	彌補漣波
918	穩定DC電壓
1000	方法
1002	操作
1003	方塊
1004	操作
1005	正弦波產生器
1006	操作
1007	操作
1008	操作
1009	操作
1010	方塊
1012	方塊
1011	正弦公式模組
1013	餘弦公式模組
1014	方塊

1100	系統
1102	能量儲存裝置
1104	能量儲存裝置
1106	能量儲存裝置
1108	能量儲存裝置
3100	陽極冷卻器/陽極冷卻器熱交換器
3103	蒸汽產生器
3104	水源
3105	混合器
3107	分流器
3111	催化分壓氧化(CPO <sub>x</sub> )反應器
3113	催化分壓氧化(CPO <sub>x</sub> )空氣入口導管
3114	催化分壓氧化(CPO <sub>x</sub> )空氣鼓風機
3119	導管
3121	經增濕之陽極排放流導管
3123	陽極再循環鼓風機
3125	主空氣鼓風機/可變速度鼓風機
3133	導管
3137	陽極復熱器/預重組器/燃料熱交換器
3200	陰極復熱器/空氣熱交換器
3314	導管
3801	混合器
A	連接
B	連接
C	連接
D	連接

I663771

## 發明摘要

※ 申請案號：104104615

※ 申請日：104年2月11日

※IPC 分類：H01M 8/04 (2016.01)

## 【發明名稱】

多個燃料電池和電力電子供給負載並聯以允許整合電化學阻抗頻譜(EIS)之燃料電池系統之結構及方法

STRUCTURE AND METHOD FOR FUEL CELL SYSTEM WHERE MULTIPLE FUEL CELLS AND POWER ELECTRONICS FEED LOADS IN PARALLEL ALLOWING FOR INTEGRATED ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY (“EIS”)

## 【中文】

各項實施例之系統、方法及裝置能夠藉由將諸如燃料電池堆疊段之電化學裝置並聯連接至一共同負載及/或匯流排之電力電子對該等電化學裝置執行電化學阻抗頻譜(「EIS」)。在一實施例中，該等電力電子可補償在EIS期間產生之任何漣波，使得在該共同負載及/或匯流排處未實現漣波。

## 【英文】

Systems, methods, and devices of the various embodiments enable electrochemical impedance spectroscopy (“EIS”) to be performed on electrochemical devices, such as fuel cell stack segments, by power electronics connecting the electrochemical devices in parallel to a common load and/or bus. In an embodiment, the power electronics may compensate for any ripple generated during EIS such that no ripple is realized at the common load and/or bus.

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】**：第（ 9 ）圖。

**【本代表圖之符號簡單說明】**：

106A	燃料電池/燃料電池段/電力模組之部分
600	系統
602	電化學裝置
604	電化學裝置
606	電化學裝置
608	電化學裝置
610	電力電子
612	電力電子
614	電力電子
616	電力電子
618	DC匯流排
618a	正線
618b	中性線
618c	負線
620	輸出連接
620a	正輸出連接
620b	中性輸出連接
620c	負輸出連接
622	輸出連接
622a	正輸出連接
622b	中性輸出連接
622c	負輸出連接
624	輸出連接

624a	正輸出連接
624b	中性輸出連接
624c	負輸出連接
626	輸出連接
626a	正輸出連接
626b	中性輸出連接
626c	負輸出連接
630	控制器
632	控制器
634	控制器
636	控制器
638	中央控制器
640	輸入連接
640a	正輸入連接
640b	負輸入連接
642	輸入連接
642a	正輸入連接
642b	負輸入連接
644	輸入連接
644a	正輸入連接
644b	負輸入連接
646	輸入連接
646a	正輸入連接
646b	負輸入連接
902	經注入波形/測試波形
904	漣波

- 906 經注入波形/彌補波形
- 908 彌補漣波
- 910 經注入波形/彌補波形
- 912 彌補漣波
- 914 經注入波形/彌補波形
- 916 彌補漣波
- 918 穩定DC電壓
- A 連接
- B 連接
- C 連接
- D 連接

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

# 申請專利範圍

1. 一種系統，其包括：

一直流(「DC」)匯流排；

一第一電化學裝置，其經由一第一輸入連接電連接至一第一DC轉換器，其中該第一DC轉換器經由一第一輸出連接連接至該DC匯流排；

至少一第二電化學裝置，其經由至少一第二輸入連接電連接至至少一第二DC轉換器，其中該至少一第二DC轉換器經由該至少一第二輸出連接連接至該DC匯流排，且其中該第一輸出連接及該至少一第二輸出連接將該第一DC轉換器及該至少一第二DC轉換器並聯連接至該DC匯流排；及

一處理器，其連接至該第一DC轉換器及該至少一第二DC轉換器，其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行包括以下各者之操作：

選擇一測試波形以注入至自該第一DC轉換器至該第一電化學裝置之該第一輸入連接上；

判定該第一輸出連接上將回應於將該測試波形注入至該第一輸入連接上而產生之一第一所得漣波(resulting ripple)；

判定至少一彌補(offset)波形以注入至自該至少一第二DC轉換器至該至少一第二電化學裝置之該至少一第二輸入連接上，使得將提供至該至少一第二輸出連接之一或多個第二漣波抵銷(cancel)該第一所得漣波；

控制該第一DC轉換器以將該測試波形注入至該第一輸入連接上；及

控制該至少一第二DC轉換器以將該至少一彌補波形注入至

該至少一第二輸入連接上，

其中該第一DC轉換器包含經組態以儲存漣波能量及異相地放電該漣波能量之一能量儲存裝置。

2. 如請求項1之系統，其中該第一電化學裝置係一第一燃料電池堆疊段，且該至少一第二電化學裝置係至少一第二燃料電池堆疊段。

3. 如請求項2之系統，其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行進一步包括以下各者之操作：

控制該第一DC轉換器以回應於該經注入測試波形而使用阻抗頻譜(「EIS」)來監測該第一燃料電池段之一阻抗回應；及

至少部分基於該第一燃料電池段之該阻抗回應而判定該第一燃料電池段之一特性。

4. 如請求項3之系統，其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行進一步包括基於該經判定特性調整該第一燃料電池段之一設定之操作。

5. 如請求項4之系統，其中該經判定特性係一燃料利用率，且其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行操作，使得基於該經判定特性調整該第一燃料電池段之一設定包括：基於該經判定燃料利用率調整該第一燃料電池段之一燃料流設定。

6. 如請求項3之系統，其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行進一步包括以下各者之操作：

判定該經判定特性是否超過一故障臨限值；及

回應於判定該經判定特性超過該故障臨限值而指示一故障模式。

7. 如請求項6之系統，其中該故障模式係一燃料耗盡狀態、一陽極觸媒中毒狀態、一陽極觸媒損害狀態或一水淹狀態。

8. 如請求項3之系統，其中至少一第二電化學裝置經由至少一第二輸入連接電連接至至少一第二DC轉換器，其中該至少一第二DC轉換器經由至少第二輸出連接連接至該DC匯流排且其中該第一輸出連接及該至少一第二輸出連接將該第一DC轉換器及該至少一第二DC轉換器並聯連接至該DC匯流排包括：

一第二燃料電池堆疊段經由一第二輸入連接電連接至一第二DC轉換器，其中該第二DC轉換器經由一第二輸出連接連接至該DC匯流排；

一第三燃料電池堆疊段經由一第三輸入連接電連接至一第三DC轉換器，其中該第三DC轉換器經由一第三輸出連接連接至該DC匯流排；及

一第四燃料電池堆疊段經由一第四輸入連接電連接至一第四DC轉換器，其中該第四DC轉換器經由一第四輸出連接連接至該DC匯流排且其中該第一輸出連接、該第二輸出連接、該第三輸出連接及該第四輸出連接將該第一DC轉換器、該第二DC轉換器、該第三DC轉換器及該第四DC轉換器並聯連接至該DC匯流排，及

其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行操作使得：

判定至少一彌補波形以注入至自該至少一第二DC轉換器至該至少一第二電化學裝置之該至少一第二輸入連接上，使得將提供至該至少一第二輸出連接之一或多個第二漣波抵銷該第一所得漣波包括：判定一第二彌補波形以注入至自該第二DC轉換器至該第二燃料電池堆疊段之該第二輸入連接上；判定一第三彌補波形以注入至自該第三DC轉換器至該第三燃料電池堆疊段之該第三輸入連接上；及判定一第四彌補波形以注入至自該第四DC轉換器至該第四燃料電池堆疊段之該第四

輸入連接上，使得該第二輸出連接上之一第二漣波、該第三輸出連接上之一第三漣波及該第四輸出連接上之一第四漣波之一總和抵銷該第一所得漣波；及

控制該至少一第二DC轉換器以將該至少一彌補波形注入至該至少一第二輸入連接上包括：

控制該第二DC轉換器以將該第二彌補波形注入至該第二輸入連接上；

控制該第三DC轉換器以將該第三彌補波形注入至該第三輸入連接上；及

控制該第四DC轉換器以將該第四彌補波形注入至該第四輸入連接上。

9. 如請求項8之系統，其中該第一燃料電池堆疊段、該第二燃料電池堆疊段、該第三燃料電池堆疊段及該第四燃料電池堆疊段皆為一固態氧化物燃料電池系統段、質子交換膜燃料電池系統段、磷酸燃料電池系統段或熔融碳酸鹽燃料電池系統段。
10. 如請求項3之系統，其中控制該第一DC轉換器以回應於該經注入測試波形而使用EIS監測該第一燃料電池段之一阻抗回應包括：

將該第一燃料電池段之一電壓之實分量及虛分量以及該第一燃料電池段之一電流之實分量及虛分量轉換為該第一燃料電池段之一極形式電壓及該第一燃料電池段之一極形式電流；及

將該第一燃料電池段之一阻抗判定為該第一燃料電池段之該極形式電壓對該第一燃料電池段之該極形式電流。
11. 如請求項1之系統，其中該能量儲存裝置處在該第一DC轉換器之該第一輸入連接、該第一輸出連接或一變壓器上之一繞組上。
12. 如請求項1之系統，其中該第一電化學裝置及該第二電化學裝置皆為電池組電池、電解電池或電化學泵浦電池。

13. 一種方法，其包括：

選擇一測試波形以注入至自一第一DC轉換器至一第一電化學裝置之一第一輸入連接上；

判定該第一DC轉換器之一第一輸出連接上將回應於將該測試波形注入至該第一輸入連接上而產生之一第一所得漣波；

判定至少一彌補波形以注入至自至少一第二DC轉換器至至少一第二電化學裝置之至少一第二輸入連接上，使得將提供至該至少一第二DC轉換器之至少一第二輸出連接之一或多個第二漣波抵銷該第一所得漣波；

將該測試波形注入至該第一輸入連接上；及

將該至少一彌補波形注入至該至少一第二輸入連接上，

其中該第一輸出連接及至少一第二輸出連接將該第一DC轉換器及該至少一第二DC轉換器並聯連接至一DC匯流排。

14. 如請求項13之方法，其中該第一電化學裝置係一第一燃料電池堆疊段，且該至少一第二電化學裝置係至少一第二燃料電池堆疊段。

15. 如請求項14之方法，其進一步包括：

回應於該經注入測試波形使用電化學阻抗頻譜(「EIS」)來監測該第一燃料電池段之一阻抗回應；及

至少部分基於該第一燃料電池段之該阻抗回應而判定該第一燃料電池段之一特性。

16. 如請求項15之方法，其進一步包括基於該經判定特性調整該第一燃料電池堆疊段之一設定。

17. 如請求項16之方法，其中該經判定特性係一燃料利用率，且其中調整該第一燃料電池堆疊段之一設定包括基於該經判定燃料利用率調整該第一燃料電池堆疊段之一燃料流設定。

18. 如請求項15之方法，其進一步包括：

判定該經判定特性是否超過一故障臨限值；及

回應於判定該經判定特性超過該故障臨限值而指示一故障模式。

19. 如請求項18之方法，其中該故障模式係一燃料耗盡狀態、一陽極觸媒中毒狀態、一陽極觸媒損害狀態或一水淹狀態。

20. 如請求項15之方法，其中：

判定至少一彌補波形以注入至自至少一第二DC轉換器至至少一第二電化學裝置之至少一第二輸入連接上，使得將提供至該至少一第二DC轉換器之至少一第二輸出連接之一或多個第二漣波抵銷該第一所得漣波包括：判定一第二彌補波形以注入至自一第二DC轉換器至一第二燃料電池堆疊段之一第二輸入連接上；判定一第三彌補波形以注入至自一第三DC轉換器至一第三燃料電池堆疊段之一第三輸入連接上；及判定一第四彌補波形以注入至自一第四DC轉換器至一第四燃料電池堆疊段之一第四輸入連接上，使得該第二DC轉換器之一第二輸出連接上之一第二漣波、該第三DC轉換器之一第三輸出連接上之一第三漣波及該第四DC轉換器之一第四輸出連接上之一第四漣波之一總和抵銷該第一所得漣波；

將該彌補波形注入至該至少一第二輸入連接上包括：

將該第二彌補波形注入至該第二輸入連接上；

將該第三彌補波形注入至該第三輸入連接上；及

將該第四彌補波形注入至該第四輸入連接上；及

該第一輸出連接、該第二輸出連接、該第三輸出連接及該第四輸出連接將該第一DC轉換器、該第二DC轉換器、該第三DC轉換器及該第四DC轉換器並聯連接至該DC匯流排。

21. 如請求項20之方法，其中該第一燃料電池堆疊段、該第二燃料電池堆疊段、該第三燃料電池堆疊段及該第四燃料電池堆疊段皆為一固態氧化物燃料電池系統段、質子交換膜燃料電池系統段、磷酸燃料電池系統段或熔融碳酸鹽燃料電池系統段。
22. 如請求項15之方法，其中回應於該經注入測試波形使用EIS來監測該第一燃料電池段之一阻抗回應包括：
  - 將該第一燃料電池段之一電壓之實分量及虛分量以及該第一燃料電池段之一電流之實分量及虛分量轉換為該第一燃料電池段之一極形式電壓及該第一燃料電池段之一極形式電流；及
  - 將該第一燃料電池段之一阻抗判定為該第一燃料電池段之該極形式電壓對該第一燃料電池段之該極形式電流。
23. 如請求項13之方法，其中該第一DC轉換器包含一能量儲存裝置，該方法進一步包括：
  - 儲存漣波能量及對該漣波能量異相地放電。
24. 如請求項23之方法，其中該能量儲存裝置處在該第一DC轉換器之該第一輸入連接、該第一輸出連接或一變壓器上之一繞組上。
25. 如請求項13之方法，其中該第一電化學裝置及該第二電化學裝置兩者為電池組電池、電解電池或電化學泵浦電池。
26. 一種系統，其包括：
  - 一直流(「DC」)匯流排；
  - 一第一燃料電池段，其經由一第一輸入連接電連接至一第一DC轉換器，其中該第一DC轉換器經由一第一輸出連接連接至該DC匯流排；
  - 至少一第二裝置，其經由至少一第二輸出連接連接至該DC匯流排；及

一處理器，其連接至該第一DC轉換器及該至少一第二裝置，其中該處理器組態有處理器可執行指令以執行包括以下各者之操作：

將一電化學阻抗頻譜測試波形注入至該第一燃料電池段中以產生至該DC匯流排之一第一所得漣波；及

將至少一第二彌補漣波自該至少一第二裝置注入至該DC匯流排，其中該至少一第二彌補漣波至少部分彌補該DC匯流排上之該第一所得漣波。

27. 如請求項26之系統，其中該至少一第二裝置係至少一波形產生器。

28. 如請求項26之系統，其中：

該至少一第二裝置係經由至少一第二輸入連接電連接至至少一第二燃料電池段之至少一第二DC轉換器；

該第一輸出連接及該至少一第二輸出連接並聯連接至該DC匯流排；及

該處理器組態有處理器可執行指令以執行操作，使得將至少一第二彌補漣波自該至少一第二裝置注入至該DC匯流排包括將至少一彌補波形注入至該至少一第二燃料電池段中以產生至該輸出匯流排之至少一第二彌補漣波。

29. 一種操作一燃料電池系統之方法，其包括：

將一電化學阻抗頻譜測試波形注入至一第一燃料電池段中以產生至該燃料電池系統之一輸出匯流排之一第一所得漣波；及

將至少一第二彌補漣波注入至該輸出匯流排，

其中該至少一第二彌補漣波至少部分彌補該輸出匯流排上之該第一所得漣波。

30. 如請求項29之方法，其中將至少一第二彌補漣波注入至該輸出

匯流排係由連接至該輸出匯流排之一輸入管線之一波形產生器執行。

31. 如請求項29之方法，其中：

將至少一第二彌補漣波注入至該輸出匯流排包括將至少一彌補波形注入至至少一第二燃料電池段中以產生至該輸出匯流排之至少一第二彌補漣波；及

該至少一第二燃料電池段與該第一燃料電池段並聯連接至該輸出匯流排。