



(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 I800502 B

(45) 公告日：中華民國 112 (2023) 年 05 月 01 日

(21) 申請案號：107107739

(22) 申請日：中華民國 107 (2018) 年 03 月 07 日

(51) Int. Cl. : G01N17/02 (2006.01)

G01N17/04 (2006.01)

G01N27/02 (2006.01)

(30) 優先權：2017/03/08

歐洲專利局

17159850.1

(71) 申請人：丹麥商沃旭風力能源公司 (丹麥) (DK)

丹麥

(72) 發明人：傑森 伯麗 布爾 JENSEN, BIRIT BUHR (DK)

(74) 代理人：洪蘭心

(56) 參考文獻：

TW 531637

TW 201245748A

EP 2894466A1

US 2011/0012628A1

審查人員：張耕誌

申請專利範圍項數：19 項 圖式數：12 共 38 頁

(54) 名稱

用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法及其系統

(57) 摘要

一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，鋼支撐結構由第一類型鋼製成，方法包括以下步驟：(a) 提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由對應於第一類型鋼的一種鋼製成；(b) 將第一傳感器配置為與鋼支撐結構連接；(c) 通過一個或多個傳感器元件中的至少一個感應電流；(d) 藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測一部分第一傳感器的劣化；(e) 根據第一數據估計鋼支撐結構的劣化程度。

Disclosed is a method for estimating deterioration of a steel support structure supporting an offshore wind turbine. The steel support structure being made of a first type of steel, the method comprising the steps of: (a) providing a first sensor having one or more sensor elements, wherein a first sensor element of the one or more sensor elements is made of a type of steel corresponding to the first type of steel; (b) arranging the first sensor in connection with said steel support structure; (c) inducing an electrical current through at least one of the one or more sensor elements; (d) monitoring the deterioration of a part of the first sensor by in a first time interval measuring electrical properties of the first sensor and storing the measurements as first data; (e) estimating the deterioration of the steel support structure from the first data.

指定代表圖：

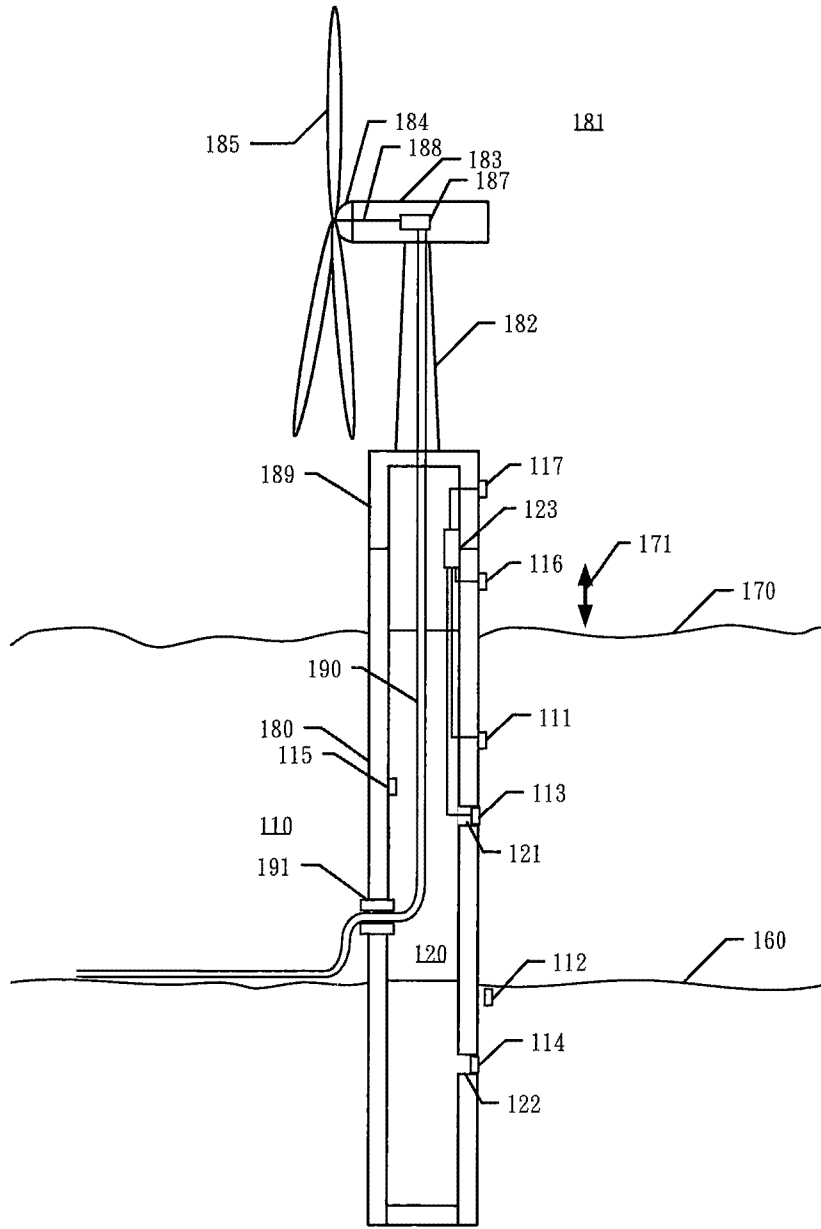


圖 1

符號簡單說明：

- 110:外部
- 111:第一傳感器
- 112:第二傳感器
- 113:第三傳感器
- 114:第四傳感器
- 115:第五傳感器
- 116:第六傳感器
- 117:第七傳感器
- 120:中空內部
- 121:第一開口
- 122:第二開口
- 123:中央控制單元
- 160:海床
- 170:水
- 171:大氣區域
- 180:鋼支撐結構
- 181:海上風機
- 182:塔架
- 183:機艙
- 184:轉子輪轂
- 185:轉子葉片
- 187:發電機
- 188:軸
- 189:轉接段
- 190:電纜
- 191:引導裝置

申請案號：

I800502

公告本

【發明摘要】

【中文發明名稱】用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法及其系統

【英文發明名稱】METHOD FOR ESTIMATING DETERIORATION OF STEEL SUPPORT STRUCTURE SUPPORTING AN OFFSHORE WIND TURBINE AND SYSTEM THEREOF

【中文】

一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，鋼支撐結構由第一類型鋼製成，方法包括以下步驟：（a）提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由對應於第一類型鋼的一種鋼製成；（b）將第一傳感器配置為與鋼支撐結構連接；（c）通過一個或多個傳感器元件中的至少一個感應電流；（d）藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測一部分第一傳感器的劣化；（e）根據第一數據估計鋼支撐結構的劣化程度。

【英文】

Disclosed is a method for estimating deterioration of a steel support structure supporting an offshore wind turbine. The steel support structure being made of a first type of steel, the method comprising the steps of: (a) providing a first sensor having one or more sensor elements, wherein a first sensor element of the one or more sensor elements is made of a type of steel corresponding to the first type of steel; (b) arranging the first sensor in connection with said steel support structure; (c) inducing an electrical current through at least one of the one or more sensor elements; (d) monitoring the deterioration of a part of the first sensor by in a first time interval

measuring electrical properties of the first sensor and storing the measurements as first data; (e) estimating the deterioration of the steel support structure from the first data.

【指定代表圖】圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- 110：外部
- 111：第一傳感器
- 112：第二傳感器
- 113：第三傳感器
- 114：第四傳感器
- 115：第五傳感器
- 116：第六傳感器
- 117：第七傳感器
- 120：中空內部
- 121：第一開口
- 122：第二開口
- 123：中央控制單元
- 160：海床
- 170：水
- 171：大氣區域
- 180：鋼支撐結構

- 181：海上風機
- 182：塔架
- 183：機艙
- 184：轉子輪轂
- 185：轉子葉片
- 187：發電機
- 188：軸
- 189：轉接段
- 190：電纜
- 191：引導裝置

【發明說明書】

【中文發明名稱】用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法及其系統

【英文發明名稱】METHOD FOR ESTIMATING DETERIORATION OF STEEL SUPPORT STRUCTURE SUPPORTING AN OFFSHORE WIND TURBINE AND SYSTEM THEREOF

【技術領域】

【0001】本發明有關一種用以估計海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法。

【先前技術】

【0002】海上風力已被證實是一種產生電力的有效方式。然而，提供用於支撐風力渦輪機（風機）的安全基礎是具有挑戰性的。由於對地基的壽命要求通常超過25年，因此這項作業並不容易。

【0003】鋼支撐結構通常用於支撐海上風力渦輪機。然而，鋼支撐結構容易受到許多方面的影響而惡化，其中最關鍵的是腐蝕。與淡水相比，海水會增加腐蝕速度。海水中的鹽（電解質）增加了電解質的電導率。考慮到腐蝕，用於鋼支撐結構的鋼的數量通常會增加，且將塗層施加到表面並施加陰極保護。然而，增加鋼的數量，施加塗層和使用陰極保護會增加鋼支撐結構的成本。

【0004】提供一種更精確地估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法仍然是個問題。

【發明內容】

【0005】 根據第一方面，本發明關於一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，鋼支撐結構由第一類型鋼製成，方法包括以下步驟：

- (a) 提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中，一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由對應於第一類型鋼的一種鋼製成；
- (b) 將第一傳感器配置成與鋼支撐結構連接；
- (c) 通過一個或多個傳感器元件中的至少一個感應電流；
- (d) 藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測一部分第一傳感器的劣化；
- (e) 根據第一數據估計鋼支撐結構的劣化。

【0006】 因此，通過使用具有與鋼支撐結構的鋼相對應的鋼類型製成的傳感器元件的傳感器，可提供一種估計鋼支撐結構之劣化的簡單且精確的方法。

【0007】 鋼支撐結構可以是基礎單樁 (foundation monopile)；空間框架結構 (space frame structure)，例如套管式 (jacked) 或三腳架 (tripod) 結構；隨動塔式平臺 (compliant tower)；用於離岸結構，例如張力腿式平台 (tension leg platform, TLD)，的重力結構 (gravity structure) 或浮式結構 (floating structure)；半潛船 (Semi-Submersible)；單柱式平台 (spar platform) 或三樁式 (tri-pile)。第一傳感器可以被配置來檢測全面腐蝕、孔蝕和/或塗層的劣化。鋼支撐結構可包括一轉接段。

【0008】 第一傳感器可以配置在鋼支撐結構上、鋼支撐結構中、固定到鋼支撐結構，或者固定到靠近鋼支撐結構的海床上。第一傳感器可以配置在鋼支撐結構的外部或者鋼支撐結構的中空內部。第一傳感器可以配置在海

面之下、海床中、潮汐區中、飛濺區中或大氣區中。第一傳感器可以固定在一固定元件，其中固定元件被固定在鋼支撐結構。

【0009】 電流可以通過第一傳感器的第一傳感器元件或另一傳感器元件感應。電流可以通過連接在傳感器元件之第一側的第一電氣端子進入傳感器元件，並且通過連接在傳感器元件之第二側的第二電氣端子離開傳感器元件。選擇地/另外地，電流可以通過電氣端子進入傳感器元件且通過面向水或海床的外表面離開傳感器元件，或者通過外表面進入傳感器元件且通過電氣端子離開傳感器元件。外表面的處理方式可以類似於鋼支撐結構的處理方式，例如，用相同的塗層或類似的塗層塗覆和/或以相同的方式噴砂。電流可以是直流電流或交流電流。電流可以從形成第一傳感器的一部分的電池，或者經由電纜連接到第一傳感器的外部電源供應到第一傳感器，外部電源例如一外部電池、電網或風力渦輪機的發電機。電流可以被固定具有已知的大小。或者，電源可以提供已知大小的固定電壓，由此電流是至少一個傳感器元件的阻抗/電阻率的函數。

【0010】 第一時間間隔可以是至少1週，1個月，6個月，1年，2年，5年，10年，15年，20年或25年。第一個時間間隔可能少於1年，2年，5年，10年，15年，20年或25年。電氣特性可以定期測量，例如，每秒、分、小時，天或星期至少一次。

【0011】 所測量的第一傳感器的電氣特性可以是：第一傳感器元件或另一傳感器元件上的電壓降、通過第一傳感器元件或另一傳感器元件的電流、兩個傳感器元件之間或傳感器元件和參考電極之間的電壓降。第一傳感器可包括一處理單元被配置來量測電氣特性。第一傳感器可被配置來估計第一傳感器元件或另一傳感器元件的腐蝕，例如第一傳感器可以是電阻(ER)

腐蝕探針。選擇地/另外地，第一傳感器可以被配置來估計應用在第一傳感器元件或另一傳感器元件之塗層的劣化。

【0012】 鋼支撐結構的劣化可以通過假設鋼支撐結構的劣化基本對應於第一傳感器元件的劣化來估計。可利用處理單元處理第一數據以估計鋼支撐結構的劣化。處理單元可以配置在第一傳感器中、與第一傳感器分開但與鋼支撐結構連接、或者與鋼支撐結構分離，例如第一數據可以通過如因特網的廣域網路被傳送到處理單元。

【0013】 第一傳感器元件可以與鋼支撐結構基本上在相同時間且相同的生產設施處製成。這可以確保第一傳感器元件的鋼的特性類似於鋼支撐結構的鋼的特性。

【0014】 在一些實施例中，步驟 (a) 還包括提供第二傳感器，第二傳感器包括鋅參考電極，且其中步驟 (b) 還包括將第二傳感器嵌入海床中。

【0015】 因此，通過使用鋅參考電極，電極可以更好地適應海床中存在的特殊環境。因此，與由銀/氯化銀 (Ag/AgCl) 參考電極提供的測量相比，鋅參考電極可以提供更可靠的測量。

【0016】 第二傳感器可嵌入海床中或海床沉積可能及時或在水中發生。參考電極可以用於量測結構至電解質的電位作為一結構連接部與參考電極之間的電壓差。還可以測量多於一個參考電極 (鋅，銀/氯化銀或其他) 之間的電位差，以評估水中、海床中、或水和海床之間的梯度。

【0017】 在一些實施例中，鋼支撐結構用第一類型的塗層塗覆在第一表面上，第一傳感器元件被塗覆第一類型的塗層，並且其中步驟 (c) 還包括通過第一類型的塗層感應電流，步驟 (d) 還包括測量第一傳感器元件之電氣特性的變化，步驟 (e) 還包括從第一數據估計鋼支撐結構的塗層的劣化。

【0018】因此，提供了一種估計鋼支撐結構的塗層之劣化的簡單且有效的方法。

【0019】第一傳感器可以配置在鋼支撐結構之塗覆的第一表面附近。整個第一傳感器元件或僅部分第一傳感器元件可被塗覆。第一傳感器元件可具有面向水/大氣或海床的外表面，其中外表面可被塗覆。外表面可以是平面的或具有與鋼支撐結構的曲率匹配的曲率。塗層可以是無溶劑或高固含量的環氧塗層，其具有不同的層厚度和不同層數，且具備和不具備面塗層（聚氨酯或聚矽氧烷）。

【0020】在一些實施例中，步驟（d）包括通過水或海床，即通過電解質，在第一傳感器元件和參考電極之間感應電流，估計第一傳感器元件和參考電極之間的電阻抗，以及其中步驟（e）還包括通過分析第一數據來估計鋼支撐結構之塗層的劣化，以估計第一傳感器元件和參考電極之間的電阻抗隨時間的變化。

【0021】通常使用的塗層作為電絕緣體。因此，通過分析電阻抗的變化，例如在一定頻率範圍內，劣化可以被估計，例如電阻抗的下降表示塗層的劣化。

【0022】估計的劣化可以是塗層之絕對厚度/狀態的估計或相對估計的劣化。電阻抗隨時間的變化與塗層的劣化之間的相關性可以藉由本發明之配備有傳感器的適當數量的鋼支撐結構進行檢查（非破壞性或破壞性）來找到。

【0023】在一些實施方式中，步驟（e）還包括估計塗層已經劣化到特定點的時間點T1。

【0024】特定點可以是絕對參數值或相對參數值。參數值可以指示塗層防止腐蝕的能力。特定點可以是當塗層停止保護鋼支撐結構免受腐蝕時，或

是僅保留其原有保護能力的特定百分比時。曲線擬合可以使用來找出時間點T1，例如如關於圖11所解釋的，可以將曲線擬合到第一數據並用以預測時間點T1。

【0025】在一些實施例中，方法還包括以下步驟：

(f) 在根據時間點T1所選擇的時間點T2對鋼支撐結構施加額外的防腐蝕保護。

【0026】因此，可以在需要時施加防腐蝕保護。

【0027】在一些實施例中，防腐蝕保護是陰極保護系統。

【0028】在一些實施例中，防腐蝕保護層是新的塗層。

【0029】在一些實施例中，鋼支撐結構具有圍繞中空內部的壁，並且其中鋼支撐結構在壁中設有第一開口，以形成從中空內部到外部的通道，並且其中步驟(b)包括配置第一傳感器在第一開口中。

【0030】因此，第一傳感器可以被有效地保護。此外，將第一傳感器放置在開口中，可以確保第一傳感器暴露於當地情況下，此當地情況模擬鋼支撐結構所暴露的情況，例如如果第一傳感器連接到鋼支撐結構的外部，則可能在傳感器周圍產生特殊的流動狀況，這可能會改變第一傳感器元件劣化的方式。

【0031】在一些實施例中，第一傳感器以第一傳感器的任何部分都不從第一開口伸出至外部的方式配置在第一開口內。

【0032】在一些實施例中，在鋼支撐結構被固定到海床之前，第一傳感器被配置在第一開口內，第一開口形成在鋼支撐結構插入海床的一部分中，鋼支撐件結構隨後被固定到海床，由此第一傳感器被配置在海床中，並且可以提供指示被插入到海床中的部分鋼支撐結構的劣化測量值。

【0033】因此，第一傳感器可以提供指示被插入到海床中的部分鋼支撐結構的劣化測量值。

【0034】在一些實施例中，第一傳感器被固定在固定元件，並且其中固定元件被插入到第一開口中。

【0035】使用固定元件可以將相同類型的傳感器用於不同的鋼支撐結構和/或鋼支撐結構上的不同位置。此降低了成本並提高了可靠性。

【0036】此外，使用固定元件可以有助於確保在第一開口和固定元件之間形成緊配合，由此可以防止鋼支撐結構的內部和外部之間的水交換。

【0037】在一些實施例中，第一開口和固定元件具有圓形或橢圓形的形狀，以更容易製造第一開口而不顯著地降低鋼支撐結構的強度。

【0038】在一些實施例中，多個傳感器被固定到固定元件。

【0039】在一些實施例中，第一傳感器元件面向外部並且一根或多根電力或控制電纜連接至第一傳感器，一個或多個電力或控制纜線配置在鋼支撐結構的中空內部內。

【0040】因此，電力纜線或控制纜線可以被有效地保護。

【0041】在一些實施例中，在將鋼支撐結構固定到海床之前，一根或多根電力或控制纜線連接到第一傳感器，並且其中一保護元件從第一開口下方的中空內部的內壁突出，保護元件被配置來當鋼支撐結構被插入海床時保護一根或多根電力或控制纜線。

【0042】在一些實施例中，第一傳感器還包括第二傳感器元件、第一電絕緣體和第二電絕緣體，其中第二傳感器元件通過第一電絕緣體與第一傳感器元件分離；第二電絕緣體和第一傳感器元件一起將第二傳感器元件和第一電絕緣體封進內部，並且保護第二傳感器元件和第一電絕緣體不與水接觸；第一電絕緣體被配置為在其與水接觸時分解、溶解和/或降低其電阻

抗，藉以在腐蝕已在第一傳感器元件中形成了針孔而允許水與第一電絕緣體接觸後，第一傳感器元件和第二傳感器元件之間的電阻抗降低；並且其中步驟(e)包括處理第一數據以估計當在第一傳感器元件中形成針孔時的時間點T3。

【0043】 因此，可以估計孔蝕的程度。由於孔蝕通常構成比均勻腐蝕更重要的問題，因此這些信息可能非常有價值。

【0044】 第一傳感器可以進一步配置為檢測平均腐蝕，由此可以確定相對於平均腐蝕的孔蝕的程度。第一電絕緣體可以是電阻率高於圍繞鋼支撐結構的水的電阻率的流體或粉末，例如，純化水或大氣。或者，第一電絕緣體可以是海綿。海綿可以由實驗室級多孔過濾材料製成。第二電絕緣體應當由比第一傳感器元件腐蝕/劣化顯著慢的材料製成。第二電絕緣體可以由環氧樹脂製成。第二電絕緣體可以部分地由第一傳感器的殼體形成。

【0045】 在一些實施例中，步驟(d)包括在多個時間點測量量測以下的電阻抗：

- 第二傳感器元件的電阻抗；
- 第二傳感器元件和至少通過第一電絕緣體與第二傳感器元件分離的參考電極之間的電阻抗；或者
- 連接到第一傳感器元件之第一端的第一電氣端子和連接到第一傳感器元件之第二端的第二電氣端子之間的電阻抗；

其中通過處理多個估計的電阻抗來估計時間點T3。

【0046】 參考電極可以是接地電極，例如，第一傳感器可以包括一結構連接部，藉此鋼支撐結構用作接地電極。

【0047】 在第一傳感器元件中形成針孔之後，水將與第二傳感器元件接觸。這可能會導致三種效應。

【0048】第一效應，隨著第一電絕緣體的絕緣性能降低，第二傳感器元件和至少通過第一電絕緣體與第二傳感器元件分離的參考電極之間的電阻抗將減小。第一傳感器元件可以用作參考電極。或者，第一傳感器可以包括一專用的參考電極。

【0049】第二效應，第二傳感器元件將開始腐蝕。這種腐蝕可以通過測量第二傳感器元件的電阻抗的增加來確定，即類似於關於圖6和圖7所解釋的。

【0050】第三效應，連接到第一傳感器元件之第一端的第一電氣端子和連接到第一傳感器元件之第二端的第二電氣端子之間的電阻抗將隨著第一電絕緣體開始起電解連接的作用而下降。

【0051】因此，通過監測第一傳感器以檢測三個效應中的至少一個，可以確定時間點T3。

【0052】在一些實施例中，時間點T3被估計作為電阻抗或電阻抗的估計變化率達到或超過預定閾值的時間點。

【0053】根據第二方面，本發明關於一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，鋼支撐結構用第一類型的塗層塗覆在第一表面上，方法包括以下步驟：

- (a) 提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由金屬製成並塗覆有第一類型的塗層；
- (b) 將第一傳感器配置成與鋼支撐結構連接；
- (c) 通過第一傳感器元件感應電流；
- (d) 藉由量測第一傳感器元件的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測在第一時間間隔內第一傳感器元件之塗層的劣化；
- (e) 根據第一數據估計鋼支撐結構之塗層的劣化。

【0054】因此，提供了一種估計鋼支撐結構之塗層的劣化的簡單且有效的方法。

【0055】根據第三方面，本發明關於一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，其中鋼支撐結構具有圍繞中空內部的壁，壁具有第一開口，以形成從中空內部到外部的通道，方法包括以下步驟：

- (a) 提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由金屬製成；
- (b) 將第一傳感器配置在鋼支撐結構的第一開口中；
- (c) 通過一個或多個傳感器元件中的至少一個來感應電流；
- (d) 藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測一部分第一傳感器的劣化或者直接監測鋼支撐結構的劣化；
- (e) 根據第一數據估計鋼支撐結構的劣化。

【0056】因此，第一傳感器可以被有效地保護。此外，將第一傳感器放置在開口中，可以確保第一傳感器暴露於當地情況下，此當地情況模擬鋼支撐結構所暴露的情況，例如如果第一傳感器連接到鋼支撐結構的外部，則可能在傳感器周圍產生特殊的流動狀況，這可能會改變第一傳感器元件劣化的方式。

【0057】第一傳感器可能是一個電阻（ER）腐蝕探針。或者，第一傳感器可以包括參考電極，例如一個鋅參考電極，用於量測結構至電解質的電位，作為一結構連接部和參考電極之間的電壓差。還可以測量多於一個參考電極（鋅，銀/氯化銀或其他）之間的電位差，以評估水中、海床中、或水和海床之間的梯度。

【0058】根據第四方面，本發明關於一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，方法包括以下步驟：

- (a) 提供包括第一傳感器元件、第二傳感器元件、第一電絕緣體和第二電絕緣體的第一傳感器，其中第一傳感器元件由金屬製成；第二傳感器元件通過第一電絕緣體與第一傳感器元件分離；第二電絕緣體和第一傳感器元件一起將第二傳感器元件和第一電絕緣體封進內部，並且保護第二傳感器元件和第一電絕緣體不與水接觸；第一電絕緣體被配置為當其與水接觸時分解、溶解和/或降低其電阻抗，藉以在腐蝕已在第一傳感器元件中形成了針孔而允許水與第一電絕緣體接觸後，第一傳感器元件和第二傳感器元件之間的電阻抗降低；
- (b) 將第一傳感器配置成與鋼支撐結構連接；
- (c) 通過第一傳感器元件和/或第二傳感器元件感應電流；
- (d) 藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測第一傳感器元件的劣化；
- (e) 藉由處理第一數據來估計當在第一傳感器元件中形成針孔時的時間點T3，以從第一數據估計鋼支撐結構的劣化。

【0059】因此，可以估計孔蝕的程度。因為對設計來說，結構上的疲勞比最終極限狀態（ultimate limit state, ULS）來的重要，因此孔蝕通常構成比均勻腐蝕更重要的問題。

【0060】根據第五方面，本發明關於一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，鋼支撐結構由第一類型鋼製成，方法包括以下步驟：

- (a) 提供第二傳感器，第二傳感器包括鋅參考電極；
- (b) 嵌入第二傳感器與鋼支撐結構連接；

(c) 通過使用鋅參考電極量測局部電位來估計鋼支撐結構的腐蝕程度。

【0061】根據第六方面，本發明關於一種系統，系統包括支撐風機的鋼支撐結構、控制單元和第一傳感器，其中：

- 鋼支撐結構由第一類型鋼製成；
- 第一傳感器具有一個或多個傳感器元件，其中一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由對應於第一類型鋼的一種鋼製成；
- 第一傳感器被配置成與鋼支撐結構連接；
- 第一傳感器被配置成通過一個或多個傳感器元件中的至少一個來感應電流；
- 系統被配置為藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以監測一部分第一傳感器的劣化；以及
- 系統被配置為使用處理單元處理第一數據，以估計鋼支撐結構的劣化。

【0062】本發明的不同方面可以以不同方式實施，如上文和下文所述，每個方面產生結合上述至少一個方面描述的一個或多個益處和優點，並且每個具有一個或多個較佳實施例對應於結合上述和/或從屬權利要求中公開的至少一個方面描述的較佳實施例。此外，將意識到，結合本文描述的方面中的一個所描述的實施例可以同樣地應用於其他方面。

【0063】為讓本發明之上述和其他目的、特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0064】

圖1所示為根據本發明一實施例之配置在鋼支撐結構上的海上風機示意圖，其中多個傳感器配置為與鋼支撐結構連接。

圖2所示為根據本發明一實施例之估計由第一種類型鋼製成且支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法流程圖。

圖3所示為根據本發明又一實施例之估計支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法流程圖。

圖4所示為根據本發明又一實施例之估計支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法的流程圖。

圖5所示為根據本發明又一實施例之估計支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法的流程圖。

圖6a及圖6b所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁上的傳感器示意圖。

圖7所示為根據本發明一實施例之可用於圖6a及圖6b所示之傳感器中的電路。

圖8a至圖8d所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁上的傳感器之中央橫截面。

圖9所示為根據本發明又一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁上的傳感器之中央橫截面。

圖10a至圖10e所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上機器的鋼支撐結構的壁上的傳感器之中央橫截面。

圖11所示為第一傳感器元件和參考電極之間的電阻抗/電阻隨時間變化的函數範例。

圖12所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁上的傳感器之中央橫截面。

【實施方式】

【0065】在以下描述中，參考附圖，附圖以示例方式展示出如何實施本發明。

【0066】圖 1 所示為根據本發明一實施例之配置在鋼支撐結構 180 上的海上風機 181 示意圖，其中第一傳感器 111 至第七傳感器 117 配置為與鋼支撐結構 180 連接。風機 181 是水平軸風力渦輪機。風機 181 包括塔架 182、機艙 183 和連接到三個轉子葉片 185 的轉子輪轂 184。轉子葉片/轉子轂組件連接到用於驅動發電機 187 的軸 188。發電機 187 產生電能且電能通過電纜 190 提供給電網。鋼支撐結構 180 部分地浸沒在水 170 中並且部分地嵌入海床 160 中。鋼支撐結構包括轉接段 189。電纜 190 可以使用引導裝置 191，例如 J 形管，而從外部 110 被引導到鋼支撐結構 180 的中空內部 120 中。鋼支撐結構 180 在此實施例中是單樁結構。

【0067】第一傳感器 111 裝設在水平面下方鋼支撐結構 180 的外表面上，第二傳感器 112 嵌入到靠近鋼支撐結構 180 的海床中，第三傳感器 113 裝設在鋼支撐結構 180 的第一開口 121 中，第四傳感器 114 裝設在鋼支撐結構 180 的第二開口 122 中，第五傳感器 115 裝設在鋼支撐結構 180 的內部，第六傳感器 116 裝設在位於潮汐/飛濺或大氣區域 171 內之鋼支撐結構的外部，第七傳感器 117 裝設在位於潮汐/飛濺或大氣區域內之鋼支撐結構的轉接段 189。

【0068】第一開口 121 和第二開口 122 形成從中空內部 120 到外部 110 的通道。第一開口 121 形成在鋼支撐結構 180 浸入水中的部分，第二開口 122 形成在鋼支撐結構 180 嵌入海床 160 的部分。

【0069】第一傳感器 111、第三傳感器 113、第六傳感器 116 和第七傳感器 117 經由電力和/或控制纜線連接到中央控制單元 123。纜線可以通過在鋼支撐結構 180 中鑽出的小孔進入鋼支撐結構 180 的內部。第一傳感器 111、第三傳感器 113、第六傳感器 116 和第七傳感器 117 可以通過纜線從中央控制器單元 123 接收電力並將所記錄的數據傳輸到中央控制單元 123。第二傳感器 112、第四傳感器 114 和第五傳感器 115 各自包含有提供電力的電池。第二傳感器 112、第四傳感器 114 和第五傳感器 115 可以進一步包括一無線通信單元將所記錄的數據傳輸到中央控制單元 123 或另一控制單元。第二傳感器 112、第四傳感器 114 和第五傳感器 115 可以進一步包括一儲存單元用以儲存由傳感器產生的數據。在其他實施例中，所有傳感器可以經由電力和/或控制纜線連接。

【0070】圖 2 所示為根據本發明一實施例之估計由第一種類型鋼製成且支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法流程圖。在第一步驟 201 中，提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中，一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由對應於第一類型鋼的一種鋼製成。在接著的步驟 202 中，第一傳感器被配置成與鋼支撐結構連接。然後在步驟 203 中，通過第一傳感器的至少一個或多個傳感器元件感應電流。接著在步驟 204 中，藉由量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以在第一時間間隔內監測一部分第一傳感器的劣化。最後，在步驟 204 中，根據第一數據估計鋼支撐結構的劣化。

【0071】圖 3 所示為根據本發明又一實施例之估計支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法流程圖。在此實施例中，鋼支撐結構用第一類型的塗層塗覆在第一表面上。在第一步驟 301 中，提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中，一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由金屬製成並塗覆有第一類型的塗層。在接著的步驟 302 中，第一傳感器被配置成與鋼支撐結構連接。然後在步驟 303 中，通過第一傳感器元件感應電流。接著在步驟 304 中，藉由量測第一傳感器元件的電氣特性且將量測結果儲

存為第一數據，以在第一時間間隔內監測第一傳感器元件之塗層的劣化。最後，在步驟 305 中，根據第一數據估計鋼支撐結構之塗層的劣化。

【0072】圖 4 所示為根據本發明又一實施例之估計支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法的流程圖。鋼支撐結構具有圍繞中空內部的壁，且壁設有第一開口，以形成從中空內部到外部的通道的。在第一步驟 401 中，提供具有一個或多個傳感器元件的第一傳感器，其中，一個或多個傳感器元件中的第一傳感器元件由金屬製成。在接著的步驟 402 中，第一傳感器被配置在鋼支撐結構的第一開口中。接著在步驟 403 中，通過一個或多個傳感器元件中的至少一個來感應電流。接著在步驟 404 中，藉由在第一時間間隔內量測第一傳感器的電氣特性將測量結果儲存為第一數據，以監測一部分第一傳感器的劣化。最後，在步驟 405 中，根據第一數據估計鋼支撐結構的劣化。

【0073】圖 5 所示為根據本發明又一實施例之估計支撐海上風機的鋼支撐結構之劣化的方法的流程圖。在第一步驟 501 中，提供第一傳感器，其包括第一傳感器元件、第二傳感器元件、第一電絕緣體和第二電絕緣體。第一傳感器元件由金屬製成；第二傳感器元件通過第一電絕緣體與第一傳感器元件分離；第二電絕緣體和第一傳感器元件一起將第二傳感器元件和第一電絕緣體封進內部，並且保護第二傳感器元件和第一電絕緣體不與水接觸。第一電絕緣體被配置為在其與水接觸時分解、溶解和/或降低其電阻抗，藉以在腐蝕已在第一傳感器元件中形成了針孔而允許水與第一電絕緣體接觸後，第一傳感器元件和第二傳感器元件之間的電阻抗降低。在接著的步驟 502 中，第一傳感器被配置成與鋼支撐結構連接。然後在步驟 503 中，通過第一傳感器元件和/或第二傳感器元件感應電流。接著在步驟 504 中，藉由量測第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為第一數據，以在第一時間間隔內監測第一傳感器的劣化。最後，在步驟 505 中，藉由處理第一數據來估計當在第一傳感器元件中形成針孔時的時間點 T3，以從第一數據估計鋼支撐結構的劣化。

【0074】圖 6a 及圖 6b 所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁 680 上的傳感器 601 示意圖。圖 6a 展示了正視圖，而圖 6b 展示了沿著線 699 截取的截面，僅展示了壁 680 的一小部分。傳感器 601 是電阻腐蝕傳感器。傳感器 601 包括第一傳感器元件 602 和參考傳感器元件 603。第一傳感器元件由金屬製成。第一傳感器元件 602 和鋼支撐結構可以由相同類型的鋼製成。第一傳感器元件 602 和參考傳感器元件 603 較佳由相同的材料製成。參考傳感器元件 603 被用來作為溫度傳感器。參考傳感器元件 603 被傳感器 601 的殼體封裝，且由此被保護免受腐蝕環境的影響。第一傳感器元件 602 暴露於腐蝕性環境，且因腐蝕而隨時間推移變得更薄。第一傳感器元件 602 的厚度 682 可以使用以下公式來估計：

$$d = \rho(T) \frac{L}{W \cdot R} \quad (1)$$

其中 d 是第一傳感器元件 602 的厚度 682， $\rho(T)$ 是在溫度 T 下第一傳感器元件 602 的材料的電阻率，L 是第一傳感器元件 602 的長度 683，W 是第一傳感器元件 602 的寬度 681，R 是第一傳感器元件 602 的電阻。

【0075】因此，藉由在多個時間點測量第一傳感器元件的溫度和電阻率，可以估計絕對腐蝕和腐蝕速率。圖 7 展示出可用於第一傳感器 601 中的電路。電流源 616 提供經由第一傳感器元件 602 和參考傳感器元件 603 感應的電流。提供兩個電阻器 615 和 614。兩個電阻器 614 和 615 的電阻較佳地比第一傳感器元件 602 和參考傳感器元件 603 的電阻高。這確保了通過第一傳感器元件 602 感應的電流僅小程度受到第一傳感器元件 602 腐蝕的影響。為了估計第一傳感器元件 602 的厚度 682，可以以第一傳感器元件 602 和參考傳感器元件 603 兩端的測量電壓為基礎來計算第一傳感器元件 602 和參考傳感器元件 603 的電阻。傳感器 601 只能確定第一傳感器元件 602 的平均腐蝕，例如傳感器 601 不能確定孔蝕的程度。

【0076】圖 8a 至圖 8d 所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁 880 上的傳感器 801 之中央橫截面。傳感器 801 被配置

為估計孔蝕。傳感器 801 的外部尺寸可以與圖 6a 及圖 6b 所示的傳感器 601 的外部尺寸相似。傳感器 801 在不同的時間點 (p1, p2, p3, p4) 被展示，其中圖 8a 展示了在時間點 p1 的傳感器且時間點 p1 是緊接在傳感器 801 已配置在壁 880 上之後，圖 8b 展示了在時間點 p2 的傳感器 801 且時間點 p2 是在時間點 p1 之後，圖 8c 展示了在時間點 p3 的傳感器 801 且時間點 p3 是在時間點 p2 之後，圖 8d 展示了在時間點 p4 的傳感器 801 且時間點 p4 是在時間點 p3 之後。傳感器 801 包括由金屬製成的第一傳感器元件 802、第二傳感器元件 805、第一電絕緣體 804 和第二電絕緣體。在此實施例中，傳感器 801 的殼體構成第二電絕緣體。第二傳感器元件 805 也可以由金屬製成。第二傳感器元件 805 通過第一電絕緣體 804 與第一傳感器元件 802 分離。在此實施例中，第一傳感器元件 802、第二傳感器元件 805 和第一電絕緣體 804 是平面元件，其可具有一寬度及一長度類似於圖 6a 所示之第一傳感器元件 602 的寬度 681 和長度 683，即它們可以具有基本相等的寬度和長度。第二電絕緣體和第一傳感器元件 802 一起將第二傳感器元件 805 和第一電絕緣體 804 封進內部，並且保護第二傳感器元件 805 和第一電絕緣體 804 不與水接觸（直到腐蝕已在第一傳感器元件 802 中形成孔）。第一電絕緣體 804 被配置為當其與水接觸時分解、溶解和/或降低其電阻抗，藉以在腐蝕已在第一傳感器元件 802 中形成了針孔而允許水與第一電絕緣體 804 接觸後，第一傳感器元件 802 和第二傳感器元件 805 之間的電阻抗降低。舉例說明，第一電絕緣體 804 可以是一張紙。在時間點 p1 處，腐蝕過程尚未開始，並且傳感器 801 的所有元件都是完整的。在時間點 p2 處，第一傳感器元件 802 開始腐蝕。在這個例子中，腐蝕是不均勻的且凹坑 899 被形成。此時，凹坑 899 尚未形成針孔，因此第一電絕緣體 804 和第二傳感器元件是完好無損的，因為它們兩者仍然被傳感器的外殼（第二電絕緣體）及第一傳感器元件 802 封裝和保護。在時間點 p3 處，凹坑 899 已導致針孔的形成（第一傳感器元件已經局部腐蝕），由此第一電絕緣體 804 與

水電解質接觸並且分解、溶解和/或降低其電阻抗。例如，如果第一電絕緣體是一張紙，則紙將被流過針孔的海水潤濕，由此紙的電阻抗將降低。

【0077】在第一傳感器元件802中形成針孔並且水與第二傳感器元件805接觸之後，可能導致三種效應。

【0078】第一效應，隨著第一電絕緣體804的絕緣性能降低，第二傳感器元件805和至少通過第一電絕緣體804與第二傳感器元件805分離的參考電極之間的電阻抗將減小。第一傳感器元件802可以用作參考電極。或者，第一傳感器901可以包括一專用的參考電極906，如圖9所示。

【0079】第二效應，第二傳感器元件805將開始腐蝕，如圖8d所示。這種腐蝕可以通過測量第二傳感器元件的電阻抗的增加來確定，即類似於關於圖6a及圖6b所解釋的如何估計第一傳感器元件602的腐蝕。

【0080】第三效應，連接到第一傳感器元件802之第一端的第一電氣端子和連接到第一傳感器元件802之第二端的第二電氣端子之間的電阻抗，將在針孔形成且第一電絕緣體804將提供電解接觸後立即下降。

【0081】因此，傳感器801可以包括一電氣電路，其被配置為周期性地測量第二傳感器元件805和參考電極之間的電阻抗、第二傳感器元件805的電阻抗、和/或第一傳感器元件802的電阻抗，且將量測值儲存為第一數據。傳感器801的處理單元或有權使用第一數據的處理單元可以藉由如上所述之經由檢測電阻抗的增加和/或減少來處理第一數據，以估計當在第一傳感器元件802中形成針孔時的時間點T3。傳感器801可選地進一步包括溫度傳感器803，且被配置來估計第一傳感器元件802的平均腐蝕，例如如關於圖6和圖7所解釋的那樣。此使得能夠經由下面的公式確定孔蝕程度的相對度量：

$$PF = \frac{d_p}{d_i}$$

其中PF是相對度量， d_i 是第一傳感器元件802的初始厚度，並且 d_p 是第一傳感器元件在時間點T3的平均高度。

【0082】因此，PF是介於0和1之間的數字，其中0表示腐蝕完全均勻並且不存在孔蝕，1表示僅發生孔蝕。實際上，PF不可能變為1，因為凹坑的形成將導致第一傳感器元件802的平均高度降低。

【0083】圖10a至圖10e所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁1080上的傳感器1001之中央橫截面。在此實施例中，鋼支撐結構的壁在第一表面上被塗覆在第一類型的塗層1079。僅展示壁1080的一小部分。傳感器1001包括第一傳感器元件1002和參考電極1006。傳感器1001被配置來估計第一傳感器元件1002和參考電極1006之間的電壓/電阻抗。參考電極1006可以是結構連接部。傳感器1001可以被配置來量測第一傳感器元件1002和參考電極1006之間的直流電壓。如果傳感器1001被嵌入海床中，那麼鋅參考電極可能是特別合適的。在此實施例中，第一傳感器元件1002是平面元件，其可具有一寬度及一長度類似於圖6a所示之第一傳感器元件602的寬度681和長度683。

【0084】第一傳感器元件1002由金屬製成。第一傳感器元件1002和鋼支撐結構可以由相同類型的鋼製成。第一傳感器元件1002塗覆有第一類型的塗層，即鋼支撐結構和第一傳感器元件1002塗覆有相同類型的塗層。傳感器1001被配置成通過水或海床在第一傳感器元件1002和參考電極1006之間感應電流1008，並且估計第一傳感器元件1002和參考電極1006之間的電阻抗/電阻。傳感器1001可被配置成經由使用合適的電路如惠斯通電橋或類似等，來估計第一傳感器元件1002與參考電極1006之間的電阻抗/電阻。

抗/電阻受到塗層1007的厚度/狀態、外部環境（海床或水）的電導率以及塗層1007的電導率的影響。外部環境（海床或水）和塗層1007的電導率都相對穩定，因此所估計的電阻抗/電阻是塗層厚度/狀態的良好指標，並且可能通常隨著時間而下降，如圖11所示，此為塗層1007劣化的結果。傳感器1001可選地還包括溫度傳感器1003（僅在圖10e中示出）。溫度傳感器可以允許傳感器1001考慮到外部環境（海床或水）的電導率與塗層1007的電導率之間的溫度相關變化，由此可以在特定的參考溫度，例如大約是外部環境的年平均溫度下，估計電阻抗/電阻。

【0085】傳感器1001在不同的時間點（p1，p2，p3，p4，p5）被展示，其中圖10a展示了在時間點p1的傳感器且時間點p1是緊接在傳感器1001已配置在壁1080上之後；圖10b展示了在時間點p2的傳感器1001，時間點p2是在時間點p1之後且塗層稍微變差；圖10c展示了在時間點p3的傳感器1001，時間點p3是在時間點p2之後且塗層嚴重劣化；圖10d展示了在時間點p4的傳感器1001，時間點p4是在時間點p3之後且塗層的功能已停止工作；圖10e展示了在時間點p5的傳感器1001，時間點p5是在時間點p4之後。

【0086】圖11所示為第一傳感器元件1002和參考電極1006之間的電阻抗/電阻隨時間變化的函數1129範例，其中軸線1122表示時間，軸線1121表示阻抗/電阻。垂直線1126對應於時間點p2，垂直線1127對應於時間點p3，垂直線1128對應於時間點p4，並且垂直線1130對應於時間點p5。阻抗/電阻率下降，直到塗層完全分解或喪失其作為絕緣體的功能。在時間點p4塗層被破壞/喪失絕緣能力後，阻抗/電阻率保持在大致恆定的水平，該水平取決於傳感器1001的使用位置，其由水的電導率加上剩餘的能夠提供絕緣的塗層的電導率決定，或者由海床的電導率加上剩餘的能夠提供絕緣的塗層的電導率決定。

【0087】傳感器1001可以被配置成在多個時間點估計第一傳感器元件1002和參考電極1006之間的電阻抗/電阻，並且將估計值儲存為第一數據。可以處理第一數據以估計鋼支撐結構1079的塗層的劣化。第一數據可被處理以估計塗層已經劣化到特定點的時間點T1。特定點可以是絕對參數值或相對參數值。參數值可以指示塗層防止腐蝕的能力。特定點可以是當塗層停止保護鋼支撐結構免受腐蝕時，或是僅保留其原有保護能力的特定百分比時。可以使用曲線擬合來找出時間點T1，例如可以將一條曲線擬合到第一數據並用於預測時間點T1。

【0088】圖11展示了一個簡單的例子，其中線性曲線擬合1124被應用於時間點p2和時間點p3所估計的電阻抗/電阻，以預測塗層停止保護鋼支撐結構免受腐蝕的時間點。在此例子中，預測點1125與實際時間點(即垂直線1128)之間存在相對大的差異。如果曲線擬合使用更正確的曲線，例如指數曲線或使用更多數據點，則可能導致更好的預測。通過評估先前傳感器的經驗值可以找到合適的曲線擬合。

【0089】圖12所示為根據本發明一實施例之配置在支撐海上風機的鋼支撐結構的壁1280上的傳感器1201之中央橫截面。傳感器1201包括第一傳感器元件1202且電連接到鋼支撐結構的壁。因此，在此實施例中，鋼支撐結構的壁1280充當參考電極1206。傳感器1201被配置來估計第一傳感器元件1202和參考電極1206之間的電阻抗/電阻，類似於關於圖10a至圖10e所揭示的傳感器。

【0090】儘管已經詳細描述和示出了一些實施例，但是本發明不限於它們，而是還可以在所附申請專利範圍之限定主題的範圍內以其他方式來實施。具體而言，應該理解的是，可以利用其他實施例並且可以進行結構和功能修改而不偏離本發明的範圍。

【0091】在列舉幾種裝置的設備申請專利範圍中，這些裝置中的幾種可以由一個且相同的硬體項目來體現。在相互不同的附屬項中列舉某些方法或在不同的實施例中描述某些方法這一事實，並不表示這些方法的組合不能被有利地使用。

【0092】應該強調的是，當在本說明書中使用術語“包括/包含”時，用於指定所陳述的特徵、完整事物、步驟或部件的存在，但不排除存在或添加一個或多個其他特徵，完整事物，步驟，組件或其組合。

【符號說明】

【0093】

110：外部

111：第一傳感器

112：第二傳感器

113：第三傳感器

114：第四傳感器

115：第五傳感器

116：第六傳感器

117：第七傳感器

120：中空內部

121：第一開口

122：第二開口

123：中央控制單元

160：海床

170：水

- 171：大氣區域
- 180、1079：鋼支撐結構
- 181：海上風機
- 182：塔架
- 183：機艙
- 184：轉子輪轂
- 185：轉子葉片
- 187：發電機
- 188：軸
- 189：轉接段
- 190：電纜
- 191：引導裝置
- 201、202、203、204：步驟
- 301、302、303、304、305：步驟
- 104、402、403、404、405：步驟
- 501、502、503、504、505：步驟
- 601、801、1001、1201：傳感器
- 602、802、1002、1202：第一傳感器元件
- 603：參考傳感器元件
- 614、615：電阻器
- 616：電流源
- 680、880、1080、1280：壁
- 681：寬度
- 682：厚度

- 683：長度
- 699：線
- 803：溫度傳感器
- 804：第一電絕緣體
- 805：第二傳感器元件
- 899：凹坑
- 901：第一傳感器
- 906、1006、1206：參考電極
- 1003：溫度傳感器
- 1008：電流
- 1007、1079：塗層
- 1121、1122：軸線
- 1124：線性曲線擬合
- 1125：預測點
- 1126、1127、1128、1130：垂直線

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的方法，方法包括以下步驟：

(a) 提供包括一第一傳感器元件、一第二傳感器元件、一第一電絕緣體和第二電絕緣體的一第一傳感器，其中該第一傳感器元件由金屬製成；該第二傳感器元件通過該第一電絕緣體與該第一傳感器元件分離；該第二電絕緣體和該第一傳感器元件一起將該第二傳感器元件和該第一電絕緣體封進內部，並且保護該第二傳感器元件和該第一電絕緣體不與水接觸；該第一電絕緣體被配置為當其與水接觸時分解、溶解和/或降低其電阻抗，藉以在腐蝕已在該第一傳感器元件中形成了針孔而允許水與該第一電絕緣體接觸後，該第一傳感器元件和該第二傳感器元件之間的電阻抗降低；

(b) 將該第一傳感器配置成與該鋼支撐結構連接；

(c) 通過該第一傳感器元件和/或該第二傳感器元件感應電流；

(d) 藉由在一第一時間間隔內量測該第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為一第一數據，以監測該第一傳感器元件的劣化；以及

(e) 藉由處理該第一數據來估計當在該第一傳感器元件中形成針孔時的時間點T3，以從該第一數據估計該鋼支撐結構的劣化。

【第2項】如請求項1所述的方法，其中，該步驟(d)包括在多個時間點測量以下的電阻抗：

該第二傳感器元件的電阻抗；

該第二傳感器元件和至少通過該第一電絕緣體與該第二傳感器元件分離的一參考電極之間的電阻抗；或者

連接到該第一傳感器元件之第一端的一第一電氣端子和連接到該第一傳感器元件之第二端的一第二電端子之間的電阻抗；
其中通過處理多個估計的電阻抗來估計該時間點T3。

【第3項】如請求項2所述的方法，其中，該時間點T3被估計作為該電阻抗或該電阻抗的估計變化率達到或超過一預定閾值的時間點。

【第4項】如請求項1所述的方法，其中，該鋼支撐結構用一第一類型的塗層塗覆在一第一表面上，該第一傳感器元件被塗覆該第一類型的塗層，並且其中該步驟(c)還包括通過該第一傳感器元件感應一電流，該步驟(d)還包括測量該第一傳感器元件之電氣特性的變化，以及該步驟(e)還包括從該第一數據估計該鋼支撐結構的塗層的劣化。

【第5項】如請求項4所述的方法，其中，該步驟(d)包括通過水或海床在該第一傳感器元件和一參考電極之間感應電流，估計該第一傳感器元件和該參考電極之間的電阻抗，以及其中該步驟(e)還包括通過分析該第一數據來估計該鋼支撐結構的塗層的劣化，以估計該第一傳感器元件和該參考電極之間的電阻抗隨時間的變化。

【第6項】如請求項3所述的方法，其中，該步驟(e)還包括估計塗層已經劣化到一特定點的時間點T1。

【第7項】如請求項6所述的方法，還包括以下步驟：

(f) 在根據該時間點T1所選擇的一時間點T2，對該鋼支撐結構施加額外的防腐蝕保護。

【第8項】如請求項7所述的方法，其中，該防腐蝕保護是一陰極保護系統。

【第9項】如請求項7所述的方法，其中，該防腐蝕保護是一新的塗層或現有塗層的修復。

【第10項】如請求項1所述的方法，其中，該步驟（a）還包括提供一第二傳感器，該第二傳感器包括一鋅參考電極，以及其中該步驟（b）還包括將該第二傳感器嵌入海床中。

【第11項】如請求項1所述的方法，其中，該鋼支撐結構具有圍繞一中空內部的一壁，其中該鋼支撐結構在該壁中設有一第一開口，以形成從該中空內部到外部的一通道，以及其中該步驟（b）包括將該第一傳感器配置在該第一開口中。

【第12項】如請求項11所述的方法，其中，該第一傳感器以該第一傳感器的任何部分都不從該第一開口伸出至外部的方式配置在該第一開口內。

【第13項】如請求項12所述的方法，其中，在該鋼支撐結構被固定到海床之前，該第一傳感器被配置在該第一開口內，該第一開口形成在該鋼支撐結構插入到海床的一部分中，該鋼支撐結構隨後被固定到海床，由此該第一傳感器被配置在海床中，並且可以提供指示被插入到海床中的部分該鋼支撐結構的劣化測量值。

【第14項】如請求項11所述的方法，其中，該第一傳感器被固定到一固定元件，且其中該固定元件被插入到該第一開口中。

【第15項】如請求項14所述的方法，其中，多個傳感器被固定到該固定元件。

【第16項】如請求項11所述的方法，其中，該第一開口和該固定元件具有圓形或橢圓形的形狀。

【第17項】如請求項11所述的方法，其中，該第一傳感器元件面向外部，並且一個或多個電力或控制纜線連接至該第一傳感器，該一個或多個電力或控制纜線配置在該鋼支撐結構的該中空內部。

【第18項】如請求項17所述的方法，其中，在將該鋼支撐結構固定到海床之前，該一個或多個電力或控制纜線連接到該第一傳感器，並且其中一保護元件從該第一開口下方的該中空內部的內壁突出，該保護元件被配置來當該鋼支撐結構被插入海床時保護該一個或多個電力或控制纜線。

【第19項】一種用於估計支撐海上風機的鋼支撐結構的劣化的系統，包括一支撐風機的鋼支撐結構、一處理單元和一第一傳感器，其中該第一傳感器包括一第一傳感器元件、一第二傳感器元件、一第一電絕緣體和一第二電絕緣體，其中，該第一傳感器元件由金屬製成；該第二傳感器元件通過該第一電絕緣體與該第一傳感器元件分離；該第二電絕緣體和該第一傳感器元件一起將該第二傳感器元件和該第一電絕緣體封進內部，並且保護該第二傳感器元件和該第一電絕緣體不與水接觸；該第一電絕緣體被配置為在其與水接觸時分解、溶解和/或降低其電阻抗，藉以在腐蝕已在該第一傳感器元件中形成了針孔而允許水與該第一電絕緣體接觸後，該第一傳感器元件和該第二傳感器元件之間的電阻抗降低，其中：

該第一傳感器被配置成與該鋼支撐結構連接；

該第一傳感器被配置成通過該一個或多個傳感器元件中的至少一個來感應電流；

該系統被配置為藉由在一第一時間間隔內測量該第一傳感器的電氣特性且將量測結果儲存為一第一數據，以監測一部分該第一傳感器的劣化；

以及

該系統被配置為使用該處理單元處理該第一數據以估計當在該第一傳感器元件中形成針孔時的時間點T3。

【發明圖式】

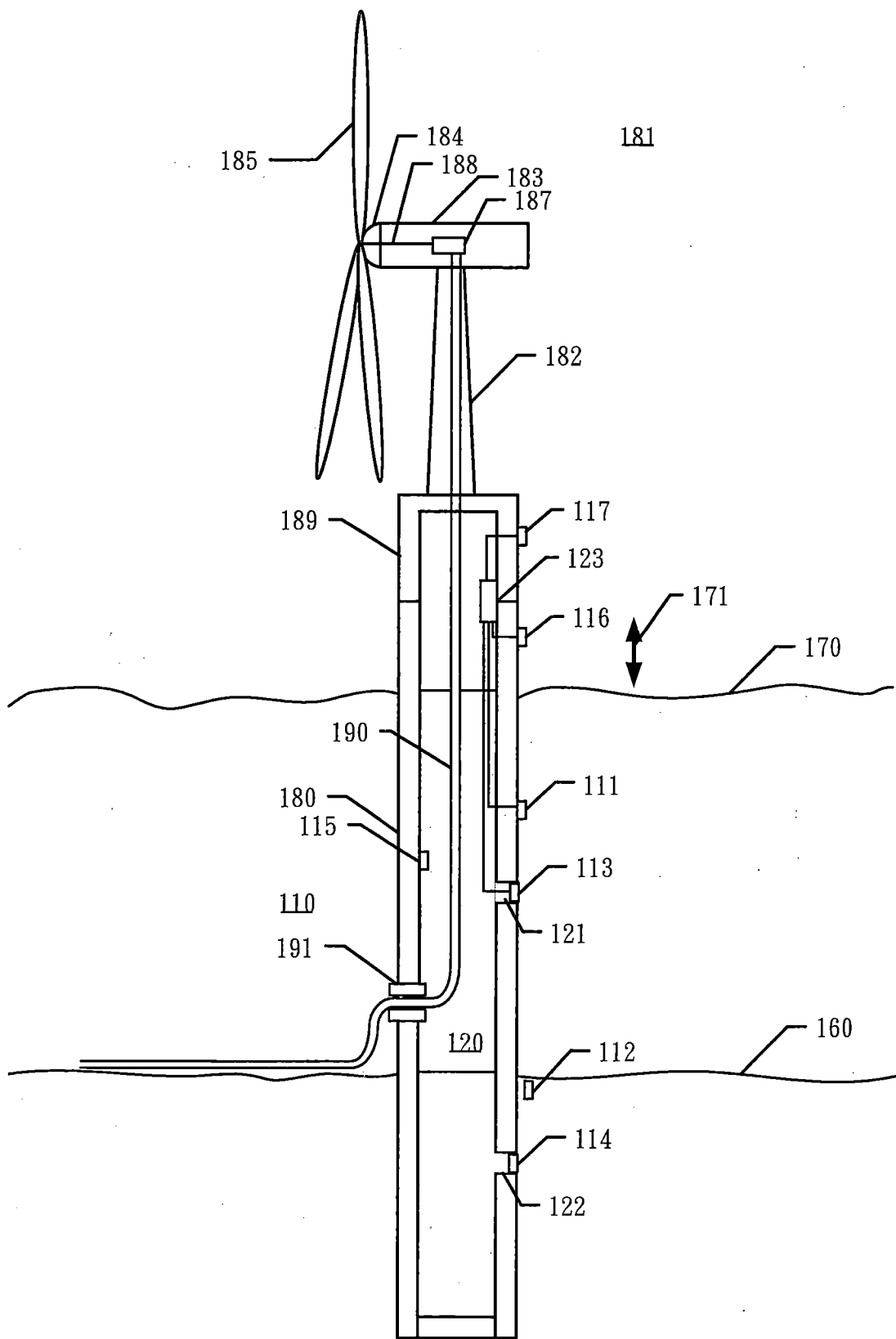


圖 1

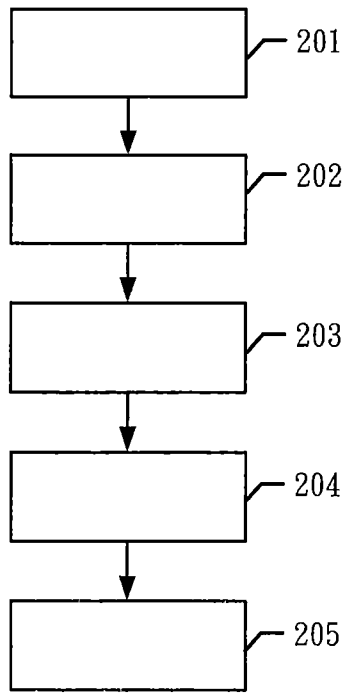


圖2

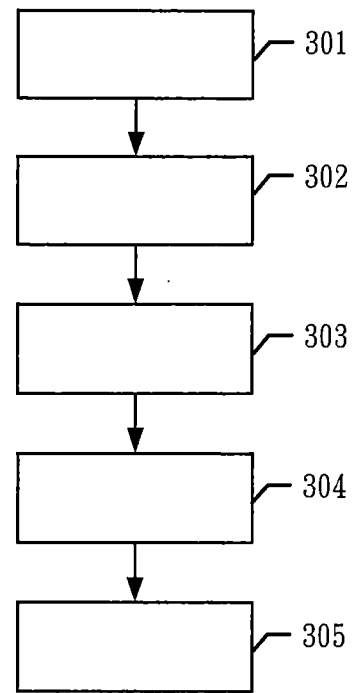


圖3

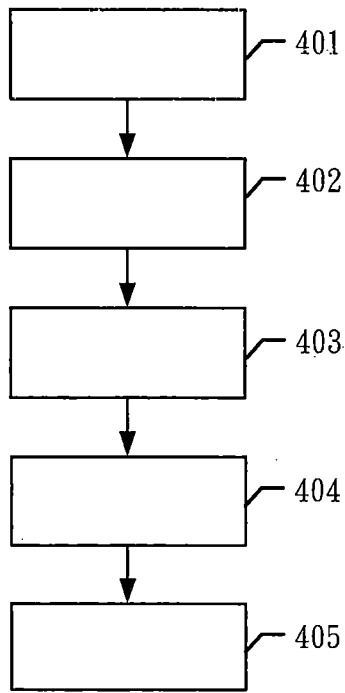


圖4

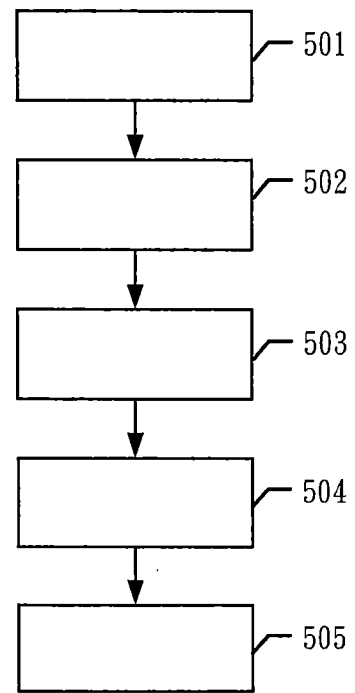


圖5

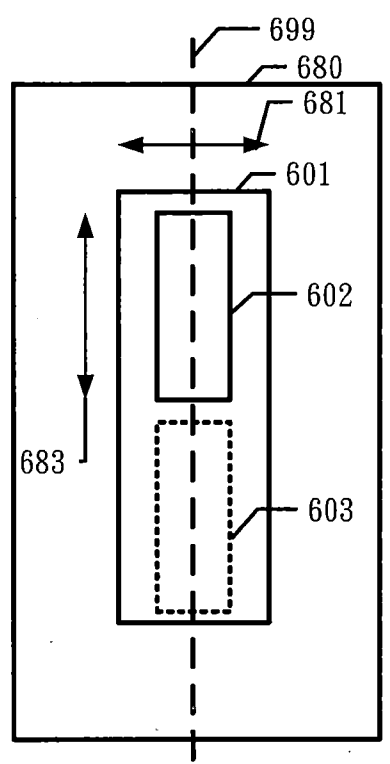


圖 6a

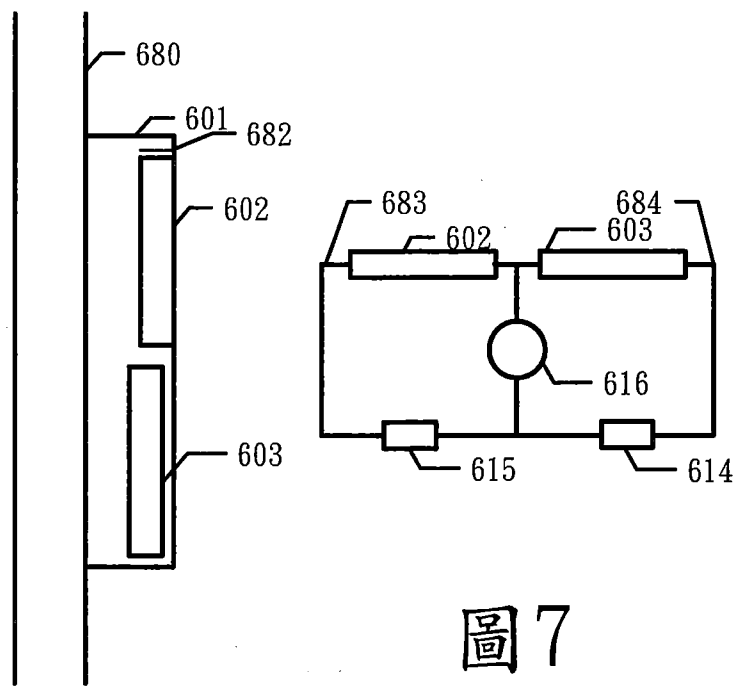


圖 6b

圖 7

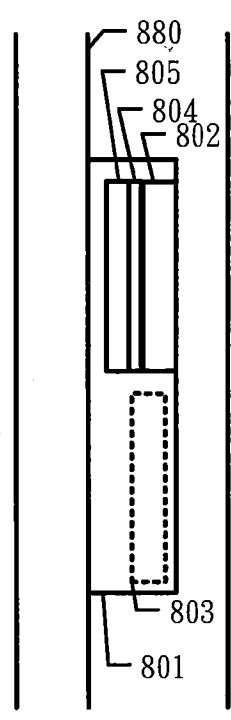


圖 8a

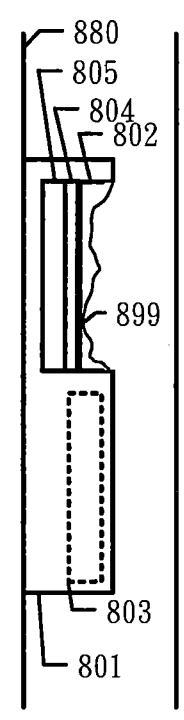


圖 8b

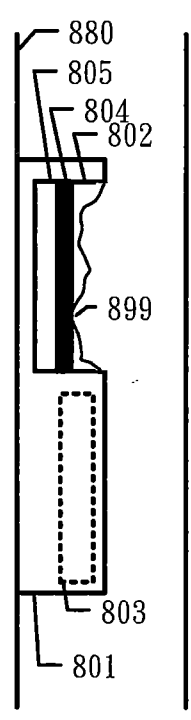


圖 8c

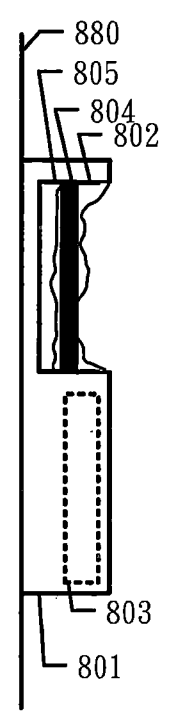


圖 8d

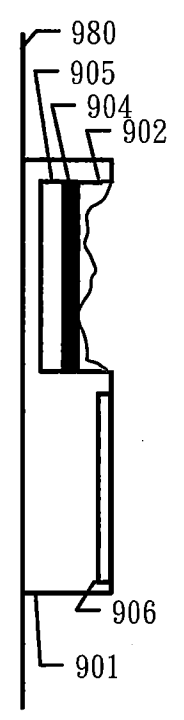


圖 9

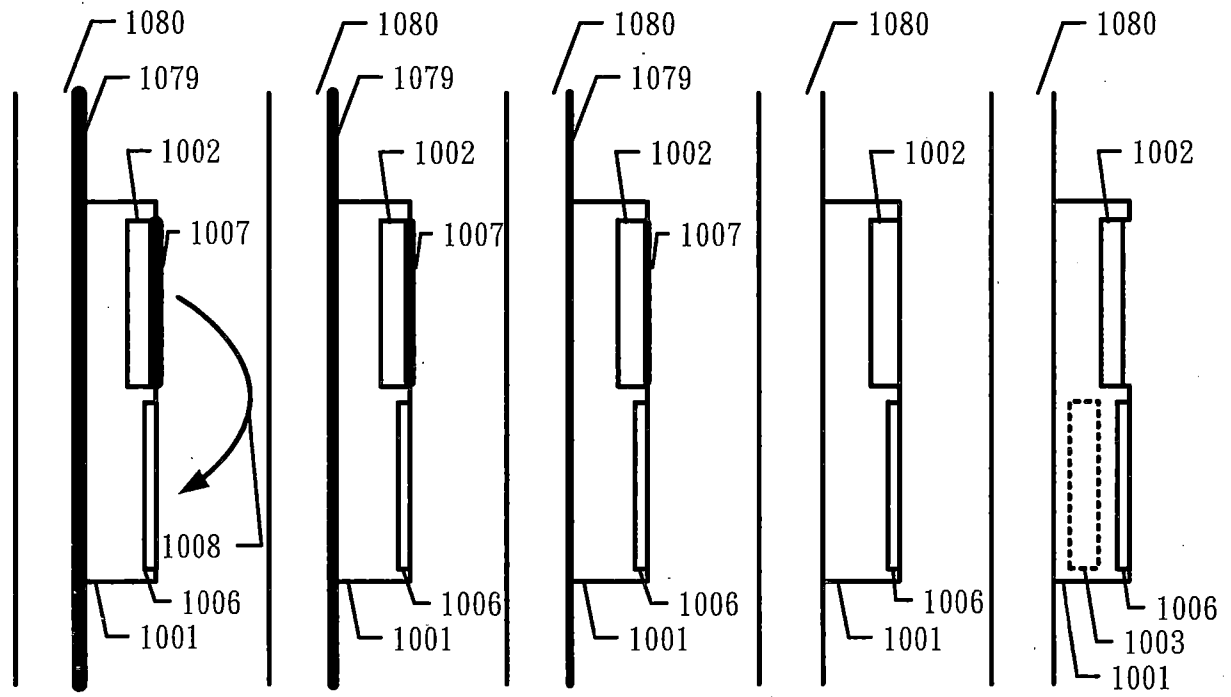


圖10a 圖10b 圖10c 圖10d 圖10e

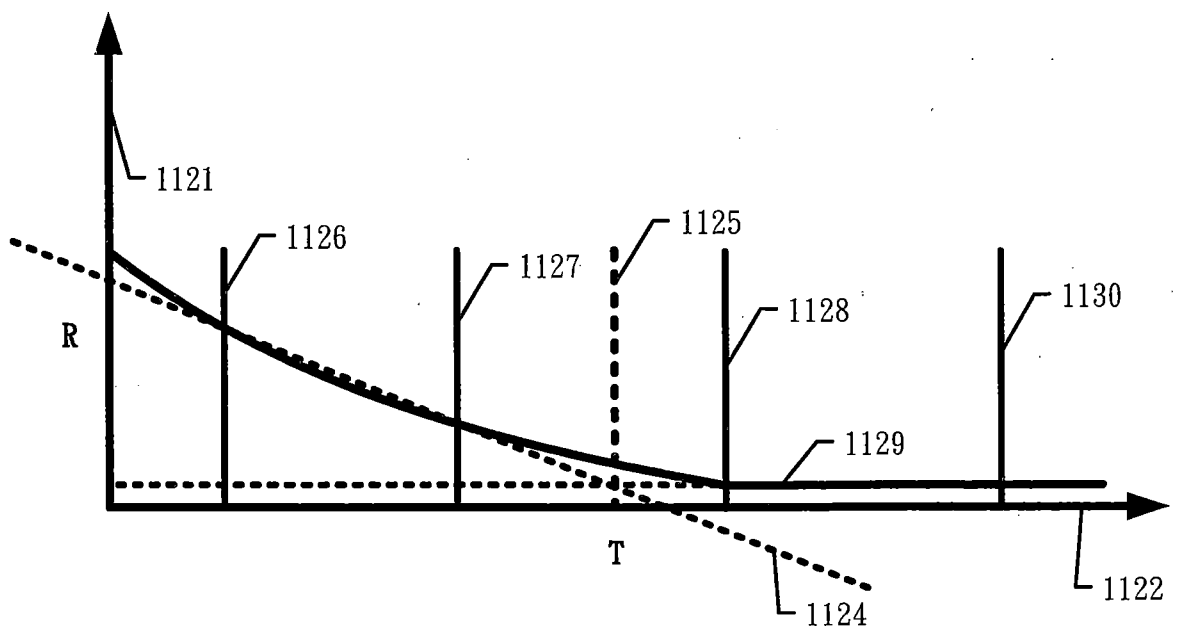


圖11

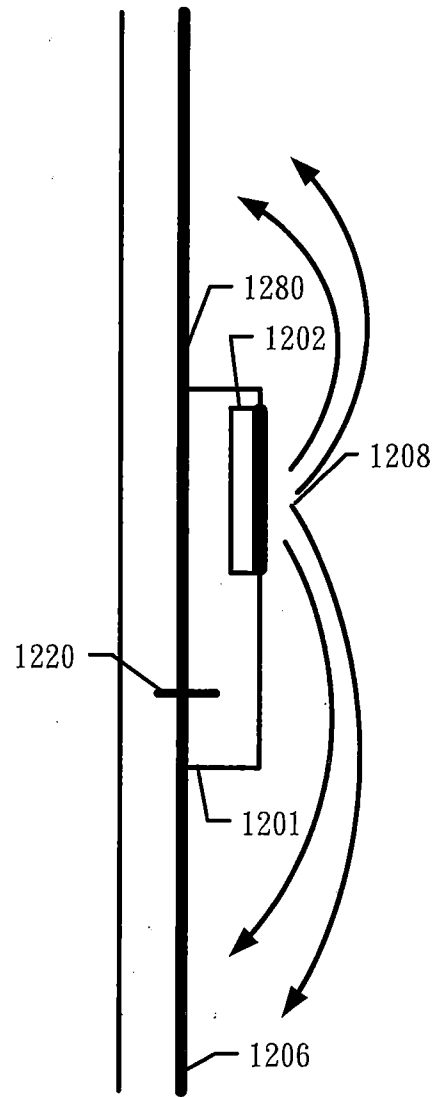


圖 12