



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201004084 A1

(43)公開日：中華民國 99 (2010) 年 01 月 16 日

(21)申請案號：098111200

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 04 月 03 日

(51)Int. Cl. : *H02H9/02 (2006.01)* *H01F6/06 (2006.01)*

(30)優先權：2008/04/03 澳大利亞 2008901584

2009/03/16 澳大利亞 2009901138

(71)申請人：Z 能量電力有限公司 (澳大利亞) ZENERGY POWER PTY LTD (AU)
澳大利亞

(72)發明人：達曼 法蘭西斯 A DARMANN, FRANCIS ANTHONY (AU)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：0 共 55 頁

(54)名稱

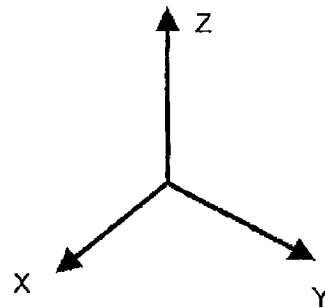
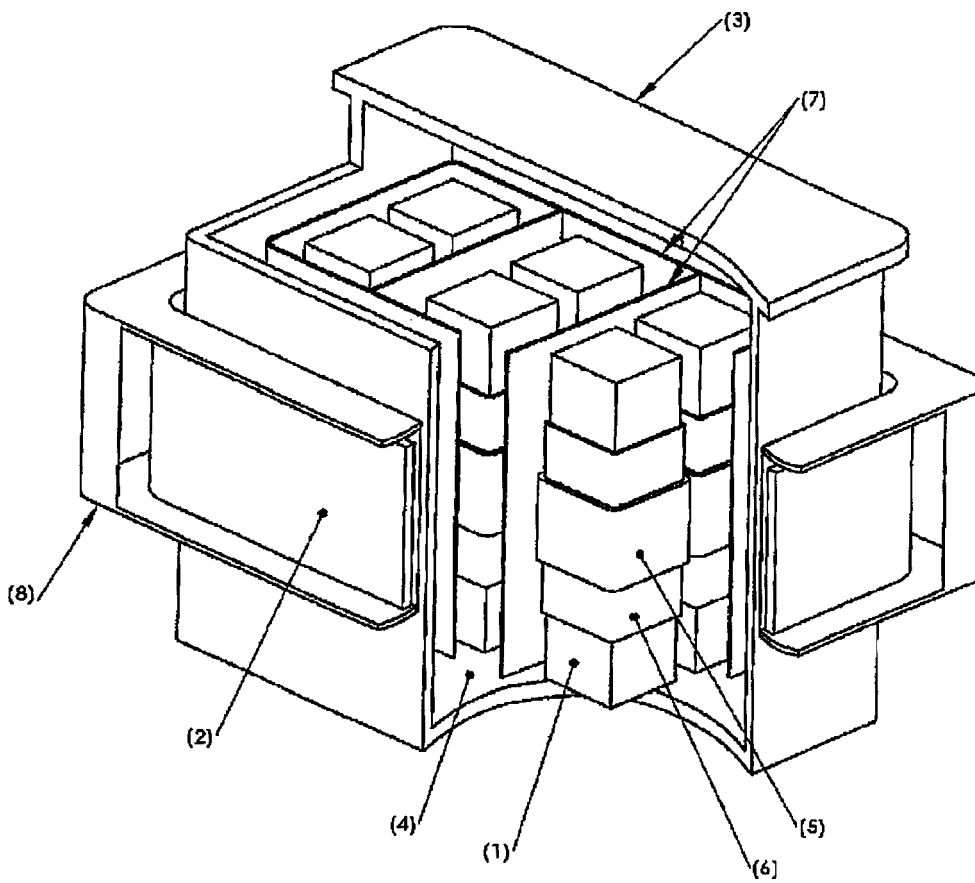
故障電流限制器

A FAULT CURRENT LIMITER

(57)摘要

一種故障電流限制器包括用於整體界定該 FCL 之一鐵芯的一連串高導磁柱。用於使該等高導磁柱之一部分飽和的一 DC 線圈包圍以一容器之形式的一外殼外部的完整結構。該容器包含一介電絕緣媒介。用於傳遞 AC 電流的 AC 線圈繞在絕緣形成器上且以一方式彼此電氣互連，使得由對應高導磁鐵芯中的每個 AC 線圈產生的磁場之感測是相反的。相位之間具有絕緣遮罩以改良介電媒介之介電抵抗特性。

- 1：鐵芯柱
- 2：DC 線圈
- 3：容器
- 4：介電絕緣媒介
- 5：AC 線圈
- 6：絕緣形成器
- 7：絕緣遮罩





(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201004084 A1

(43)公開日：中華民國 99 (2010) 年 01 月 16 日

(21)申請案號：098111200

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 04 月 03 日

(51)Int. Cl. : *H02H9/02 (2006.01)* *H01F6/06 (2006.01)*

(30)優先權：2008/04/03 澳大利亞 2008901584

2009/03/16 澳大利亞 2009901138

(71)申請人：Z 能量電力有限公司 (澳大利亞) ZENERGY POWER PTY LTD (AU)
澳大利亞

(72)發明人：達曼 法蘭西斯 A DARMANN, FRANCIS ANTHONY (AU)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：0 共 55 頁

(54)名稱

故障電流限制器

A FAULT CURRENT LIMITER

(57)摘要

一種故障電流限制器包括用於整體界定該 FCL 之一鐵芯的一連串高導磁柱。用於使該等高導磁柱之一部分飽和的一 DC 線圈包圍以一容器之形式的一外殼外部的完整結構。該容器包含一介電絕緣媒介。用於傳遞 AC 電流的 AC 線圈繞在絕緣形成器上且以一方式彼此電氣互連，使得由對應高導磁鐵芯中的每個 AC 線圈產生的磁場之感測是相反的。相位之間具有絕緣遮罩以改良介電媒介之介電抵抗特性。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

發明領域

本發明是關於一種故障電流限制器。

本發明主要針對一高壓飽和鐵芯故障電流限制器發展且參看本申請案被描述。然而，本發明不限於特定使用領域，且也適用於低壓、中壓、超高壓以及特高壓故障電流限制器。

【先前技術】

發明背景

飽和鐵芯故障電流限制器(FCL)是已知的。半導體故障電流限制裝置之例子包括：

- Darmann等人的美國專利7193825。
- Yuan等人的美國專利6809910。
- Boenig等人的美國專利7193825。
- Walker等人的美國專利申請案序號為2002/0018327。

所描述的故障電流限制是用於乾燥絕緣類型銅線圈配置，且實際上，只適用於使用空氣作為主絕緣媒介之DC飽和FCL。即，一多相FCL中的AC相線圈之間以及AC相線圈與鋼鐵芯、DC線圈、低溫保持鐵芯與主結構之間的主靜態絕緣媒介藉空氣中一適合的距離提供。這實質上將FCL限於一“乾燥型”絕緣技術。乾燥型技術一般指不僅使用電絕緣銅線圈而且使用一般靜態空氣及隔離固體絕緣遮罩材

料作為絕緣媒介之平衡的變壓器構造技術。一般而言，空氣形成高壓端與FCL之接地元件之間的主要電絕緣材料。該等接地元件包括鋼框架及外殼。

乾燥型絕緣之使用將FCL限於較低電壓範圍之AC線壓，達到大約39kV。乾燥型及電抗器在商業上只可用於達到大約39kV之電壓位準。因此，DC飽和FCL之目前已證實的技術不適用於擴展到高電壓版本。乾燥型設計導致不能設計實際大小的緊湊結構，當處理較高電壓時，使用空氣作為一絕緣媒介。

針對FCL主要出現的市場之一是中壓至高壓(33kV至166kV)以及超高壓範圍(166kV至750kV)。當在該等電壓範圍內操作時，目前所描述的技術以及DC飽和FCL之文字描述不是實際的。主要原因是由於靜壓設計考慮-例如，高壓銅線圈與低溫維持器或鋼鐵芯或DC線圈之間的空氣絕緣媒介之崩潰。處於中壓至高壓的高壓相線圈(大於39kV)一般需要浸入以下中的一者：

- 一絕緣氣體(例如，SF₆、氮氣或類似者)。
- 真空(較佳於10⁻³mbar)。
- 如一合成有機矽、植物油或用於媒介、高壓及超高壓變壓器及電抗器技術中的一般可用的絕緣油此類的液體，

當一高壓裝置被浸入此一絕緣媒介時，該媒介一般被稱為“大絕緣媒介(bulk insulation medium)”或“電介質”。

一般而言，該電介質具有一大約2至4之等級的相對介電常數，除了具有等於1之相對介電常數的真空之外。此等所謂的電介質絕緣媒介若被精確使用(藉限制固體絕緣遮罩之間的最大距離且相對於特定液體或氣體電介質最佳化填充的電介質距離)，具有遠優於大氣壓的靜電崩潰強度特性。

一般可用的大絕緣氣體及液體一般具有10至20kV/mm之等級的崩潰強度，但是一般被使用使得平均電場應力不超過大約6至10kV/mm。崩潰應力值之此安全邊限是需要的，因為即使平均靜電場應力是6至10kV/mm，由於各種靜電場增強效應，沿著任何等電場線之峰值靜電場應力也可能是平均值的2至3倍。

一般而言，針對有外殼設備中的高壓大絕緣要求，具有一電介質液體或氣體之五個主要期望要求，例如變壓器及電抗器及故障電流限制器：

- 電介質必須顯示一非常高的電阻係數。
- 電介質損失必須非常低。
- 液體必須能夠容納固態絕緣材料，沒有降低該固態絕緣(例如，線圈繞組上的線圈絕緣或環氧樹脂漆)。
- 電崩潰強度必須高。
- 媒介必須能夠移除熱能損失。

對於如變壓器、電抗器及故障電流限制器此類的有外殼裝置，固體絕緣技術一般還不可用於中壓至高壓(即，以大於39kV的操作電壓)。固體絕緣技術之缺點是在固體絕

緣之體積或不相同的材料之表面之間存在不可避免的空穴，例如在線圈絕緣與其他固體絕緣材料之間。眾所周知的，在具有高壓的固體絕緣中的空穴由於電場增強效應而在空穴產生一高電壓應力。由於部分放電，這引起周圍材料之崩潰，且最終可能導致追蹤及完全裝置故障。

將認識到的是，當銅AC相線圈不再是一“乾燥型”構造或當完整的裝置之主絕緣媒介是空氣時，使用一個單一或多個DC線圈用於飽和鋼鐵芯(例如，上述習知技術中所揭露的)之一DC飽和故障電流限制器造成基本的問題。此等配置中的一個大問題是存在用於冷卻DC HTS線圈的銅低溫維持器以及DC HTS線圈本身。低溫維持器及線圈以及鋼鐵芯相對於AC相線圈實質上處於接地電位。

作為一側面問題，但是增強了所有高壓裝置及設備之絕緣要求，基本絕緣設計也必須滿足一些電工程標準，其測試各類型的過壓之容限且在預定時間期間上點燃脈衝。在澳大利亞，此等標準之一例子如下：

- AS2374第3部分。包括全變壓器之電源頻率(PF)及發光脈衝(LI)測試之絕緣位準及電介質測試。
- AS2374第3.1部分。絕緣位準及電介質測試-空氣中的外部間隙。
- AS2374第5部分。抵抗短路之能力。

此等標準沒有形成高壓電介質設備必須滿足的標準之一詳盡列表。已認識到的是，每個國家具有涵蓋此等相同設計領域之本身的標準且個別國家之標準參考並不需

排除任何其他國家之標準。理想地，一裝置被建構以滿足多個國家標準。

此等標準之附件產生該裝置之基本絕緣位準(BIL)或一般是多個基本AC線電壓之倍數的“設計絕緣位準”(DIL)。例如，一66kV中間電壓變壓器或其他有外殼的裝置(例如，一FCL)可具有220kV之BIL。滿足此標準之要求產生一靜壓設計，該靜壓設計比只考慮AC線電壓實際上較嚴格地滿足。可應用的標準及要求自一實際的電安裝在設備及裝置在一複雜網路內可能經歷的電壓經歷暫態而產生，例如隨著電壓發光以及切換湧入。因此，一電框架上的所有設備具有適用於期望最差情形暫態電壓之BIL或DIL。

針對高壓DC飽和故障電流限制器之靜電設計問題之初始考慮可能產生以下推論：該問題容易藉只將高壓AC銅線圈容納在一適合的電絕緣氣體或液體內被解決。然而，此技術之問題是鋼鐵芯必須通過裝有氣體或液體的容器。設計長期服務之此介面難以機械解決。然而，較重要地靜電解決介面問題複雜得多且任何解決方法可能容易失敗或證明是浪費的。問題是必須發展包含藉電介質液體的容器與高導磁鐵芯之間之密封，或者一種將HTS低溫維持器與液體隔離的方法。

另一可能性是在相位之間以及相位與鋼鐵芯及低溫維持器或在銅相位線圈周圍且與該等相位線圈緊密接觸的一高電壓絕緣層之間使用固體高壓遮罩。然而，這具有一

大的有害負面影響。已知空氣與具有一較高相對介電常數的其他材料之一組合中的靜電場是，其在該材料或具有較低導磁率之液體(即，空氣)中產生增強的電場。例如，考慮具有一一般絕緣層的導電銅套筒表示匝對匝絕緣，依據方程式1：

$$E_x = \frac{U_m}{\left[\frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\epsilon/\epsilon_1} + \ln\left(\frac{d}{R}\right) \right]}$$

方程式1

其中

- U_m =相對地的AC相電壓。
- R =包括外絕緣的一銅套筒之半徑[mm]。
- r =裸銅套筒之半徑[mm]。
- d =套筒之中心與最近的地平面之距離[mm]。
- ϵ_2 =覆蓋套筒之絕緣的相對介電常數。
- ϵ_1 =浸沒套筒的大絕緣之相對介電常數(對於空氣等於1)。
- x =套筒之中心與套筒外部的一點之距離[mm]。
- E_x =點 x 的靜電場梯度[kV/mm]

場增強效應由因數 ϵ_2/ϵ_1 表示且除了使用具有等於1之相對導磁率之真空之情形之外，對於一般日常材料以2至4之等級。藉提供額外的固體或其他絕緣材料(具有比空氣更高的介電常數)，FCL之大空氣絕緣中的靜電應力增加。高壓絕緣之品質越佳，場增強效應越高。

因此，一空氣絕緣FCL中的固體介電絕緣遮罩對於以大於39kV之高壓FCL不是一技術上期望的選擇，且並不視此技術被用以製造以大於(例如)39kV之高壓乾燥型變壓器。實際上，至今沒有發現高度適用的技術，這是為什麼高於39kV之超高壓變壓器以一介電液體或氣體絕緣。

以上討論是有外殼的高壓電設備一般被完全浸入電絕緣介電液體或氣體之原因。即，絕緣銅線圈以及變壓器與電抗器之鋼鐵芯容納在一容器內，且該容器被裝滿是一液體的電介質媒介。這實質上減少以上討論中詳細討論的靜電壓設計問題。該絕緣媒介(例如油、真空或SF₆)填充高壓元件與實質上接地或處於中性電位的元件之間所有的空穴及大距離。在此情形中，固體絕緣遮罩可併入大絕緣電介質，且對於如油此類之許多的液體，將大距離除以固體絕緣改良了整體靜電絕緣之品質，藉增加電介質液體之崩潰場強度。這是因為油與固體絕緣之相對介電常數彼此非常接近(因此場增強效應相較於空氣被減少)，且大介電媒介之崩潰電壓(以Kv/mm表示)改良了絕緣遮罩之間較小的距離。

全浸沒技術之一大的問題是其不易適用於一DC飽和FCL設計或包含一超導體線圈作為DC飽和元件之其他裝置。這是因為超導體線圈及其低溫維持器或真空容器是也必須浸入介電液體的FCL之一元件。

本文已建立的本體針對一市場上可行且可製造的FCL具有四個主要準則：

- 它必須具有一低插入阻抗，使得當沒有故障且當提供峰值電源流時它不可見於網路。
- 它不應產生多於0.5%諧波之總的諧波失真值(THD)或如終端使用者所要求的。
- 它必須提供一適合的故障電流夾，在20至80%之間。
- 該設計必須擴大到AC電壓(大於6kV)及高AC電流(大於0.6kA)。

習知領域中詳述的經典飽和鐵芯FCL設計受到不適用於高壓及高AC電流設計之大的缺點。這兩個缺點都源於缺少一冷卻劑(除了空氣之外)及/或一液體或氣體電介質。

即使一液體或氣體電介質被用於經典飽和FCL設計，仍需要大的擴增以允許存取冷卻器、低溫維持器以及低溫維持器導管。除此之外，用以將靜電維持器(電能、電信號)與電介質饋通之特別密封必須被製造及測試。

在高AC電流設計中，用以傳導所需的電流之銅的截面區域比當只考慮空氣冷卻設計時高很多。此截面區域面積達到高5倍是正常的。這可能使AC線圈之尺寸太大而不能容納最小鐵芯框架磁軛大小，從而需要一較大的磁軛以維持靜電間隙。這增加了一般空氣冷卻/空氣絕緣飽和FCL之佔用空間及品質。

本說明書中的習知領域之任何討論不應以任何方式被認為承認此習知領域是眾所周知的或形成該領域內一般知識之部分。

【發明內容】**發明概要**

本發明之較佳實施例之一目的是改進以上闡述的缺點中的一者或多者以提供一有用的選擇。

本發明之較佳實施例之另一目的是克服以上闡述的缺點中的一者或多者，藉利用一FCL將AC與DC線圈之習知相對位置反向。該等實施例允許全部結構浸入一電介質中。

依據本發明之一第一層面，已提供一高壓故障電流限制器，該高壓故障電流限制器包括一磁性飽和鐵芯以及至少一繞在該飽和鐵芯之一部分周圍的AC相線圈，其中該磁性飽和鐵芯以及該至少一AC相線圈容納在一外殼內且一DC偏壓線圈設於該外殼外部且包圍該外殼，在無故障操作情形期間，該電流限制器將該鐵芯偏壓到磁性飽和以獲得低穩定狀態無故障插入阻抗，但是在故障情形期間使該鐵芯脫離磁性飽和，從而在該電子電路中提供一增加的電流限制阻抗。

在一實施例中，該高導磁率鐵芯自一變壓器鋼層疊材料；一軟鋼；或其他形式的磁鋼、鐵酸材料或一鐵磁材料中的一者或多者選擇。

在一實施例中，該鐵芯以一矩形陣列的鐵芯柱之形式，其中多個AC相線圈彼此繞在該等鐵芯柱之個別鐵芯柱上且以一方式電氣互連，使得由該等AC線圈產生的該等磁場之感測是相反的。

在一實施例中，該故障電流限制器包括一包圍該等

AC線圈的容器，用於包含一介電絕緣媒介以及該等AC線圈之冷卻媒介。

在一實施例中，該DC線圈是一超導體且較佳的是容納在一低溫維持器內的高溫超導體且被一冷卻器冷卻。

在一實施例中，該DC偏壓線圈與該等AC相線圈之同軸重合，使得該飽和鐵芯之該部分完全飽和。

在一實施例中，該磁性飽和鐵芯及AC線圈浸入一電介質內，且該電介質以一固體、液體或氣體之形式且包括任何大氣中的空氣，包括真空。

在一實施例中，該等鐵芯柱之截面是矩形的且沿著其長度的截面是常數。

在一實施例中，該磁性飽和鐵芯自一變壓器鋼層疊材料、軟鋼或其他磁性鋼、鐵酸鹽材料、一絕緣高導磁壓縮粉末或一鐵磁材料建構。

在一實施例中，該等鐵芯柱向著其末端逐漸縮小，從而在該電流限制器之無故障操作期間，實質上所有該鐵芯飽和。

依據本發明之一第二層面，已提供一種故障電流限制器，包括：

一輸入端子，用於電氣連接於一提供一負載電流之電源；

一輸出端子，用於與一負載電路電氣連接，該負載電路汲取該負載電流；

一磁性飽和鐵芯；

一AC線圈，繞在該鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

至少一DC線圈，用於在該鐵芯之至少部分內感應一磁場且沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移至高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

在一實施例中，在該低阻抗狀態中，該部分被磁性飽和。

在一實施例中，在該低阻抗狀態中，該鐵芯縱向地磁性飽和，超出該部分。

在一實施例中，在該高阻抗狀態中，該部分去磁性飽和。

在一實施例中，在該低阻抗狀態中，該AC線圈之阻抗實質上等於該AC線圈之理論空氣鐵芯阻抗。

在一實施例中，該一或多個特性中的一者是將該負載電流增加超過一預定電流值。

在一實施例中：

該鐵芯包括多個鐵芯柱；

該縱向部分在該等鐵芯柱之間分割；以及

該AC線圈包括繞在個別鐵芯柱周圍的多個線圈部分。

在一實施例中，該等鐵芯柱是平行的。

在一實施例中，該等鐵芯柱縱向延伸。

在一實施例中，每個鐵芯柱具有一實質上均一的橫向截面。

在一實施例中，該等鐵芯柱實質上類似橫向截面。

在一實施例中，該等鐵芯柱之橫向截面具有至少一對稱軸。

在一實施例中，該等鐵芯柱之橫向截面是對稱的。

在一實施例中，該等鐵芯柱在中間區域實質上共同延伸。

在一實施例中，該等鐵芯柱彼此分開。

在一實施例中，該等鐵芯柱縱向地延伸，超出該等DC線圈。

在一實施例中，該等線圈線段在該中間區域實質上縱向地共同延伸。

在一實施例中，該AC線圈縱向地延伸，超出該等DC線圈。

在一實施例中，每個鐵芯柱縱向地延伸，超出個別AC線圈。

在一實施例中，該負載電流包括三個相位，且該故障電流限制器包括針對個別相位之三對輸入端子以及輸出端子。

在一實施例中，該故障電流限制器包括以三對配置的六個鐵芯柱，其中每對鐵芯柱與用於傳遞負載電流之對應相位的個別輸入與輸出端子對相關聯。

在一實施例中，每對鐵芯柱中的鐵芯柱藉磁軛連接

在一起。

在一實施例中，每個鐵芯柱包括縱向端，且每個鐵芯柱之至少一端連接於相同鐵芯柱對中的另一鐵芯柱之一相鄰端。

在一實施例中，每個鐵芯柱之兩端藉磁軛連接於相同鐵芯柱對中的另一鐵芯柱之個別相鄰端。

在一實施例中，該等鐵芯柱藉一高導磁材料機械且實體連接。

在一實施例中，每對鐵芯柱中的該等鐵芯柱彼此相鄰且包括隔開的相對面。

在一實施例中，該等相對面實質上是平面的。

在一實施例中，該等相對面實質上是平行的。

在一實施例中，該等相對面實質上是共延的。

在一實施例中，該故障電流限制器包括用於界定中間區域之一外殼。

在一實施例中，該外殼包含一介電材料。

在一實施例中，該AC線圈容納在電介質內。

在一實施例中，該等DC線圈各自包括一高導電材料。

在一實施例中，該高導電材料自以下選擇：銅；鋁；一高溫超導材料；以及低溫超導材料。

依據本發明之一第三層面，已提供一種限制電流的方法，該方法包括以下步驟：

提供一輸入端子，該輸入端子用於電氣連接於一提

供一負載電流之電源；

提供一輸出端子，該輸出端子用於電氣連接於一汲取該負載電流之該負載電路；

提供一磁性飽和鐵芯；

將一AC線圈繞在該鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

利用至少一DC線圈在該鐵芯之至少部分內感應一磁場，其中該DC線圈沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，且其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

依據本發明之一第四層面，已提供一種故障電流限制器，其包括：

一輸入端子，用於電氣連接於一提供一負載電流之電源；

一輸出端子，用於電氣連接一負載電路，該負載電路汲取該負載電流；

一磁性飽和鐵芯；

一AC線圈，繞在該鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

至少一DC線圈，位於具有該AC線圈的一開口鐵芯配置中，以在該鐵芯之至少部分內感應一磁場，該DC線圈沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性偏移，使得該AC線圈從一低阻抗

狀態轉移至一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

依據本發明之一第五層面，已提供一種利用一故障電流限制器限制電流的方法，該方法包括：

將一電源電氣連接於一輸入端子以提供一負載電流；

將一負載電路連接於一輸出端子以汲取該負載電流；

提供一磁性飽和鐵芯；

提供一AC線圈，該AC線圈繞在該鐵芯之一縱向部分周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的負載電流；以及

提供至少一DC線圈，該至少一DC線圈位於具有該AC線圈的一開口鐵芯配置中以在該鐵芯之至少部分內感應一磁場，該DC線圈沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移至一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

依據本發明之一第六層面，已提供一種故障電流限制器，其包括：

三個輸入端子，用於電氣連接於一提供一三相位負載電流的一三相位電源之個別相位；

三個輸出端子，用於與汲取該負載電流的一負載電路之個別相位電氣連接；

一磁性飽和鐵芯，具有三對鐵芯柱，每個鐵芯柱具有一縱向部分；

三個AC線圈，繞在個別鐵芯柱對之部分的周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的負載電流；以及

至少一DC線圈，用於至少在該等部分內感應一磁場且沿著接受該等鐵芯柱及該等AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

在一實施例中，每個AC線圈包括各自繞在鐵芯柱對中的該等鐵芯柱之個別部分周圍的兩個線圈線段。

依據本發明之一第七層面，已提供一種利用一故障電流限制器限制電流之方法，該方法包括以下步驟：

電氣連接於一三相位電源三輸入端子之個別相位以提供一三相位負載電流；

與一用於汲取該負載電流之一負載電路三輸出端子之個別相位電氣連接；

提供一磁性飽和鐵芯，具有三對鐵芯柱，每個鐵芯柱具有一縱向部分；

提供三個AC線圈，該三個AC線圈繞在個別鐵芯柱對之部分周圍以傳遞該等輸入端子與輸出端子之間的該負載電流；以及

提供至少一DC線圈以在至少該等部分中感應一磁場且沿著接受該等鐵芯柱及該等AC線圈的一縱向中間區

域延伸，其中該磁場使該鐵芯柱磁性偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

依據本發明之一第八層面，已提供一故障電流限制器之鐵芯，該鐵芯包括至少一縱向延伸的鐵芯柱，且該鐵芯柱具有磁性飽和且當使用時容納在一AC線圈之個別線圈線段內的至少兩部分，且該AC線圈容納在一DC線圈中。

在一實施例中，該等部分被隔開。

在一實施例中，該鐵芯包括兩個類似的平行鐵芯柱，具有個別部分。

在一實施例中，該等鐵芯柱以磁軛連接在一起。

在一實施例中，該等鐵芯柱彼此以磁軛連接在一起。

在一實施例中，每個鐵芯柱在一第一端與一第二端之間延伸，其中該等鐵芯柱中的一者之第一端與第二端與另一鐵芯柱之第一端及第二端分別相鄰。

在一實施例中，該鐵芯包括一磁軛，該磁軛用於在該等第一端之間延伸以將該等鐵芯柱彼此以磁軛連接。

在一實施例中，該鐵芯柱包括又一磁軛，該又一磁軛用於在該等第二端之間延伸以將該等鐵芯柱彼此以磁軛連接。

在一實施例中，該等鐵芯柱包括鐵芯柱層疊。

在一實施例中，該等磁軛包括磁軛層疊。

在一實施例中，該等鐵芯柱層疊及該等磁軛層疊交

錯。

在一實施例中，該鐵芯包括六個以三對排列之縱向延伸的鐵芯柱。

依據本發明之一第九層面，已提供一種包括本發明之第八層面之一鐵芯的一故障電流限制器。

依據本發明之一第十層面，已提供一電子分配系統，該電子分配系統包括本發明之第一、第二、第四、第六及第九層面中的一者之至少一故障電流限制器。

本說明書中關於“一實施例”之參考表示結合該實施例描述的一特定特徵、結構或特性被包括在本發明之至少一實施例中。因此，在本說明書中各處出現的詞語“在一實施例中”並不需要都指相同的實施例，而是可指相同的實施例。此外，特定特徵、結構或特性在一或多個實施例中可以任何適合的方式合併，如該項領域內具有通常知識者從該揭露顯而易見的。

如此處所使用的，除非特別指出序數形容詞“第一”、“第二”、“第三”等之用途以描述一般物件，否則僅表示類似物件之不同例子被參考且並不期望表示所描述的物件必須以一給定序列，以時間、空間、等級或以任何其他方式。

圖式簡單說明

本發明之目前較佳實施例現在參看以下附圖被描述，其中：

第1圖是一實驗FCL鐵芯結構之一示意圖；

第2圖描述了第1圖之結構上之一FEA分析之結果；

第3圖描述了具有重疊且同軸的AC線圈及DC線圈之一FCL之一閉合鐵芯結構-即，該兩線圈繞在閉合鐵芯之相同的分肢上；

第4圖描述了一實驗閉合鐵芯結構，具有用以允許研究插入阻抗之本質的相關探測線圈；

第5圖描述了利用第4圖之結構進行的實驗之結果；

第6圖總結了以上實驗結構之量測的插入阻抗結果；

第7圖是依據本發明的一三相位開口鐵芯故障電流限制器之一示意橫截面圖；

第8圖是第7圖之電流限制器中所示的兩個鐵芯柱上的繞組之電氣互連之一示意圖；

第9圖顯示了沿著第7圖之Z方向的一鐵芯之長度的磁場及相對導磁率之FEA分析結果；

第10圖顯示了沿著該等鐵芯之中的一直線且經過第7圖之X方向內的三個鐵芯柱的磁場之一圖式；

第11圖顯示了具有DC電流能量化的第7圖之一個單一鐵芯柱之中心的磁場之一圖式；

第12圖顯示了在兩個飽和操作點周圍具有DC次漂移的第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式；

第13圖顯示了相對於DC線圈能量的第7圖之一鐵芯柱中間的相對導磁率之圖式且在50匝AC線圈中具有1000安培的電流；

第14圖顯示了第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式，以DC安

培匝為一函數，且在AC線圈上具有全AC電流使得每個AC線圈產生的通量是相反的；

第15圖顯示了本發明之一可選擇的形式，顯示了相同的繞組互連且兩個鐵芯之間的底磁軛被保持；

第16圖顯示了一三相開口鐵芯FCL設計之一配置，具有三列及兩行鋼鐵芯且依據第8圖中詳細討論的在每個相位上具有電氣互連；

第17圖顯示了三相開口鐵芯FCL設計之一可選擇的配置，依據第8圖中詳細闡述的，具有兩列及三行鋼鐵芯，且在每個相位上具有電氣互連；

第18圖顯示了三相開口鐵芯FCL之一磁軛連接選擇且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第19圖顯示了被用於通量密度及AC穩定狀態無故障插入阻抗測量及故障電流限制特性之實驗配置且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第20圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之量測的無故障插入阻抗特性；

第21圖顯示了以不同AC電壓及電流的無故障穩定狀態插入阻抗特性；

第22圖顯示了一開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

第23圖顯示了開口鐵芯實驗配置之通量密度暫態特性圖；

第24圖顯示了當鐵芯飽和至超過AC線圈之影響區域

的一範圍時的DC電路暫態電壓圖，且故障之存在被檢測為從 $t=0.08$ 秒開始的箭頭之間的電壓之輕微降低；

第25圖顯示了電路有以及無開口鐵芯FCL的實驗配置之暫態故障電流圖；

第26圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之DC電路暫態電流特性；

第27圖顯示了通量密度、AC無故障插入阻抗以及磁軛連接的FCL之故障電流限制能力的AC線圈與DC線圈之實驗配置，依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第28圖顯示了開口鐵芯磁軛FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗，與在具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第29圖顯示了磁軛連接與無磁軛的開口鐵芯配置之間量測的無故障插入阻抗比較，且與各種閉合鐵芯配置比較；

第30圖顯示了開口鐵芯磁軛連接的FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗且與具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第31圖顯示了一磁軛連接的開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

第32圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之通量密度圖，自繞在一鋼分肢周圍且位於一磁軛連接的開口鐵芯FCL之AC線圈頂部的一探測線圈獲得；

第33圖顯示了磁軛連接的開口鐵芯FCL實驗配置之DC

電路暫態電流特性；

第34圖是一電子分配系統中的一FCL之一示意表示；

第35圖是一個單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中該鐵芯包括端對端連接的兩個鋼鐵芯柱；

第36圖是第35圖之FCL之一頂視圖；

第37圖是一單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中該鐵芯包括壓縮粉末之一個單一鐵芯柱；

第38圖是第37圖之FCL的一俯視圖；

第39圖是一FCL之又一實施例之一示意透視圖，具有一般為圓形的佔用空間且在該鐵芯之該等鐵芯柱之間包括磁軛；以及

第40圖是第39圖之FCL的一示意俯視圖；

第41圖是一FCL之一示意透視圖，類似於第39圖無該等磁軛的圖式；

第42圖是第41圖之FCL的一俯視圖；

第43圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；

第44圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一並排3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；以及

第45圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯，該等鐵芯柱以磁軛連接。

【實施方式】

較佳實施例之詳細說明

雖然一些實施例在以下被描述，但是本發明之進一步實施例在序號為2009901138的澳大利亞專利申請案(於2009年3月16日提出申請)中被揭露，且其優先權被主張。此等實施例之細節在此透過參照方式被明確地併入本文。

參看第1-6圖之以下描述期望提供與本發明之實施例有關的內容給讀者。

首先，闡述較佳實施例之經常被使用的參數特徵，包括：

- A_{core} ：AC線圈下的高導磁鐵芯之截面面積
- N_{ac} ：AC匝之數目；
- N_{dc} ：DC匝之數目；
- I_{dc} ：DC線圈電流[amps]；
- I_{ac} ：AC線圈電流[amps,rms]；
- f ：電子系統之頻率；
- Z_b ：被保護的電子系統之基本阻抗；
- Z_+ ：該電子系統之正序列阻抗；
- I_{fb} ：該系統之預期故障電流；
- I_{fr} ：期望減少的故障電流

故障電流限制及插入阻抗是以上參數之函數。

該項領域內具有通常知識者眾所周知的是，如FCL之領域內所需的一高導磁率結構之磁化易由於以下兩個主要影響而產生通量損失；

- DC偏壓線圈周圍的磁場線之邊緣散射且通過一純空氣路徑返回。

- 部分空氣/鐵芯通量返回，其中通量進入鐵芯但是通過一空氣路徑(代替一全高導磁率路徑)返回。

例如，一FEA分析在第1圖中所示的鐵芯結構上進行。此鐵芯結構之相關特性是：

- 視窗大小寬度=290mm。
- 視窗大小高度=350mm。
- 材料：M6層疊鋼鐵芯。
- 層疊被用以建構鐵芯：0.35mm步重疊鐵芯結構。
- 鐵芯之截面積：150 mm x 150 mm

其他實驗細節在第1圖中顯示且較完整的結果在第2圖中所示。

已發現在遠的外分肢及磁軛中具有磁通量密度之損失。以下表1總結了第1圖鐵芯結構在最大通量密度點的結果。

表1：第1圖之原型鐵芯之基本通量密度結果

位置	被使用的探測線 圈圈數	通量密度 (T)
內分肢之中心	6	2.12
接近DC線圈的內分肢	5	2.07
靠近DC線圈的頂磁軛	4	2.01
遠離DC線圈的頂磁軛	3	2.01
外分肢之頂部	2	1.96
外分肢之中心	1	1.95

此處所描述的影響對於該項領域內具有通常知識者是眾所周知的。從2.12特斯拉到1.95特斯拉之AC鐵芯側通

量密度之減少一開始可能不被認為是一缺點。然而，這是對AC線圈之次迴路測量，揭露了問題。雖然DC側線圈次迴路產生接近1.0之平均相對導磁率(如同一飽和鐵芯所期望的)，但是以相同等級之DC線圈電流所量測的次迴路揭露一86之相對導磁率。這對該裝置產生一高插入阻抗，且也揭露了AC側鐵芯未完全飽和，因此觀察到B-H曲線之經典平滑。

用以減少通量密度損失且保持AC側之鐵芯飽和的方法包括：

- 使用穿過該框架的鐵芯之一較高截面積。
- 鋼之非一致橫截面。
- 減少AC與DC線圈之間的鋼之總磁長度以製造一低剖面鐵芯結構。

然而，作為此等方法之一選擇，將AC線圈設於近側分肢也是實際的，如第3圖中所示。

利用此技術，該等AC線圈直下方的該等分肢內的通量密度實質上與該等DC線圈直下方的相同。

在穩定狀態操作期間，來自AC線圈的通量必須使得被影響的鋼鐵芯之部分內的磁通量密封未飽和或者被實質上改變。這將導致高於最小可能的插入阻抗且在穩定狀態無故障AC波形中產生諧波分量。

在故障限制活動中，自AC線圈產生的通量消除了鋼鐵芯中的通量、對鋼鐵芯之一部分解飽和且引起AC線圈之終端阻抗上升。

在此特定配置中，也將認識到的是，外磁軛及分肢不再被需要-只有中間的分肢被需要。

與包含AC線圈的分肢中的通量密度之損失相關的問題也與無故障狀態中的一較高穩定狀態阻抗(也被稱為插入阻抗)相關聯。與一AC線圈相關的插入阻抗與通量密度之梯度對磁動力(MMF)圖直接成正比。若在AC線圈之影響下的鐵芯之部分沒有完全飽和至其斜率被最小化的一點，則插入阻抗實際上是高的。

為了描述插入阻抗之本質，一實驗配置在第4圖被建構以針對一鐵芯上的AC線圈相對於DC線圈之各個位置測量插入阻抗。一鐵芯及線圈結構利用以下表2及表3中所示的細節被建構。

表2

	I.D. (mm)	O.D. (mm)	高度 (mm)	匝數	層數	電阻 (歐姆)	導線直徑 (mm)
探測線圈			15	25.5	1	1.70	0.5
DC線圈	160	184	280	171	3		4.0
形成器 (DC)	150	160	280				
鐵芯視窗 內部大小	650 (H) X 450 (W) mm						
鐵芯截面	100 X 100 mm						

表3

鐵芯填充因數	0.96
使用的積分通量計	Walker Magnet
通量計設定	$25.5 \times 0.96 \times 100 = 2448$
銅DC線圈被使用 (沒有超導體)	
所有鋁結構&支撐 – 沒有軟鋼被使用	
探測線圈直接繞在鐵芯上	
M6層疊鋼鐵芯 (0.35 mm厚層疊)	

現在給出第5圖之參考。DC側上的飽和之確認利用探測線圈及霍爾探針得到。在插入阻抗測量期間沒有被使用的鐵芯中引入一1.3mm空氣間隙之需求必須使用霍爾探針。

用於測量插入阻抗之實驗配置之其他細節包括：

- DC電流=100安培DC
- AC電壓=50V AC
- AC電壓及電流之頻率：50Hz
- AC電流=28安培AC
- AC匝=50
- AC線圈電阻=0.10歐姆

第6圖總結了所量測的插入阻抗結果。最小的插入阻抗利用一致的線圈配置以及飽和之所需的DC線圈上的安培匝之最小數目達成。所有其他配置(包括AC線圈在與DC線圈之分肢相同的分肢且靠近DC線圈)產生一較高的插入

阻抗。

以安培匝為一函數的插入阻抗之測量已證實在AC線圈之影響下的高導磁鐵芯不僅必須飽和而且必須“超飽和”以具有理論上最小的插入阻抗。

如第34圖中所示，故障電流限制器(FCL)位於電分配變電站。FCL主要被包括是用以限制一變壓器之故障電流，這也被描述。當一變電站包括多於一個變壓器時，可能針對每個變壓器具有一個別FCL。然而，在一些實施例中，一變電站中不是所有的變壓器都具有一相關FCL。

該FCL在下流電氣連接於該變電站是其一部分的一電分配系統。

在其他實施例中，變壓器及FCL位於不是一變電站的一裝置內。指示性的例子包括一共產生器與其餘網格之間的一工業站分配網路；且防止主電網受到一風場、波產生器、水產生器或太陽能場之故障電流貢獻。

對於第34圖之實施例，電站是一燒煤的電站。然而，在其他實施例中，電站是一水站、一核電站以及一風產生電站中的一者或多者。

參看第7圖，已描述了依據本發明之一實施例的以三相開口鐵芯FCL配置的一連串高導磁鐵芯柱1。Z方向被定義為沿著高導磁鐵芯之縱向方向。該等鐵芯柱自變壓器層疊製造，且該等層疊之旋轉方向沿著Z軸。

將瞭解的是，鐵芯柱1整體界定FCL之一鐵芯。

該等高導磁柱1是變壓器鋼層疊材料。在其他實施例

中，利用軟鋼或其他形式的磁鋼鐵酸鹽材料或鐵磁材料或細粒材料製造，例如自增強鐵磁粉末製造的一鐵芯或一玻璃無定形鐵芯。

為了使高導磁柱1之一部分飽和，一DC線圈2包圍外殼外部的完整結構。詞語“包圍”或類似者被用以描述線圈2環繞外殼或槽。即，DC線圈沿著接受鐵芯及AC線圈的一縱向中間區域延伸。在所描述的實施例中，該鐵芯或AC線圈或多個線圈設於一槽或其他外殼內，且該DC線圈包圍該外殼。這提供較佳實施例之一些封裝及效能優點。如以下將闡述的，該等實施例之中間區域由個別槽定義。

一容器3包含一介電絕緣媒介4。此媒介也是用於該等AC線圈之一冷卻媒介且可以是周圍的大氣。

具有用於傳遞繞在絕緣形成器6上且以一方式彼此電氣連接之AC線圈5，使得在對應高導磁鐵芯內的每個AC線圈產生的磁場之感測是相對的。

具有相位之間的絕緣遮罩7以改良介電媒介之介電抵抗特性。

較佳地，DC線圈2也是一超導體且較特別地，其是設於一低溫維持器內且被一冷卻器(圖未示)的一高溫超導體。

第8圖顯示了第7圖之結構中的兩AC線圈之電子互連，顯示了繞組相對於彼此的感測及方向。

舉例而言，第7圖中所示的一種開口鐵芯飽和FCL藉使用FEA被分析。針對每個繞組上的一給定匝數，該等DC

及AC電流步進以找到 I_{dc} 與 I_{ac} 之最佳值，且理解一開口鐵芯之磁化本質。所使用的參數是用於一典型的15kV類變電站FCL且包括：

- 鐵芯之數目：6
- 一鐵芯柱之長度：0.6m
- A_{core} ，每個鐵芯之截面積： $0.0225m^2$ ，尺寸是150 mm x 150 mm
- N_{ac} ：50
- N_{dc} ：500
- I_{dc} ：從零步進到500安培。(在DC線圈上達到250,000安培匝)
- N_{dc} ：從零步進到1000安培rms。(在AC線圈上達到50,000AC安培匝)

使用的物質參數是M6變壓器層疊之物質參數，且是0.35mm厚。

第9圖顯示了沿著第7圖中所示的結構之Z方向之長度的磁場以及相對導磁率之分佈。適用於放置一AC線圈的鐵芯之區域、高導磁鐵芯之飽和區域被指出。例如，該結果顯示，AC線圈應被設計使得其高度是400mm且位於該鐵芯上與該鐵芯之任一端不小於100mm。

第10圖顯示了沿著經過三個鐵芯之中心的一直線且在X方向的磁場之一圖式。此結果顯示所有鐵芯中的磁場足以使鐵芯支柱之一X-Y陣列內的所有六個鐵芯飽和，儘管與DC線圈繞組之不一致的距離以及幾何關係。

第11圖顯示了第9圖中所示的鐵芯之中間區域內的鐵芯之DC磁化($I_{ac}=0$)。

第12圖顯示了以兩個不同DC偏壓電流值的該鐵芯之中間部分之次AC磁化漂移曲線。

從第11圖單獨考慮，可推斷80000DC安培匝之DC線圈能量(等效於500匝之DC線圈上的160安培之DC電流)足以使該鐵芯飽和。然而，AC線圈次磁化曲線(第12圖)與在AC線圈能量下的鐵芯之相對導磁率之考慮顯示該鐵芯需要至少140000DC線圈安培匝(即，在DC線圈上的至少280安培DC)被需要用於該鐵芯以具有相對低的導磁率，因此對AC線圈施加低插入阻抗。

第12圖顯示了在AC線圈上達到1000安培之AC電流將利用與160A一樣低的DC操作電流將鐵芯解飽和(80,000安培匝)。這是不被期望的且此一設計將產生一高插入阻抗、高THD及一失真電流波形。比較而言，以500A之操作點的次DC磁化迴路計算也被顯示，該操作點是一較被期望的操作點。在此等條件下，該鐵芯在AC線圈下超飽和且是一較適合的操作點。

一般而言，當考慮最佳變數之完整清單時，DC磁化與次DC磁化之組合計算不是用以找到適合的DC操作安培匝之直接方法且需要一長FEA最佳程序。為了簡化該程序，發明人提出一種鐵芯之靜磁化分析，其中在最大負載下，AC線圈被能量化至電流波形之峰值。第14圖顯示了一FEA計算，從該FEA計算清楚地是，在此情形中，該鐵芯需

要150000安培匝之DC磁化以保持在AC電流波形之每個瞬間點的飽和。

一故障電流限制器具有一低插入阻抗實際上是重要的。在本實施例中，這藉確保在AC線圈之直接磁影響下的鋼鐵芯之體積完全被DC線圈飽和至一位準 B_{sat} 而達成，使得其在正常AC穩定狀態操作情形飽和。

第7圖中所示的飽和鐵芯FCL設計針對一FCL滿足4個主要準則且具有以下優點：

- 由於不存在磁軛及外分肢之較低的質量。
- 一給定故障電流及穩定額定狀態之較低佔用空間。
- 結構之節省成本。

藉顛倒AC與DC線圈之相對位置，以下技術利益也被獲得：

- 該結構直接適應高壓及超高壓設計，不需要特別介電回饋或真空對介電介面。高導磁鐵芯之中間部分可以非常相同的方式浸入液體或氣介電液體中，使得一電源變壓器完全浸入介電液體中。
- 與高壓變壓器設計(具有合成矽油或其他電介質)有關的技術之層面及知識體可應用此基本設計，包括氣態高壓電介質，例如 SF_6 。這減少了高壓版本的裝置之設計及發展程序中所包含的實質風險。
- 被用於浸入液體電介質且以高靜壓被使用的標準眾所周知的固體材料可被使用。
- 該等AC相線圈包圍被超飽和的鋼分肢之一區域。

- 該等AC線圈之電磁影響之程度是使得插入阻抗非常接近可能的理論最小值。例如，如第9及13圖中所描述的。在該等圖式中，FEA已揭露該等鐵芯之相對導磁率非常接近單位一，儘管與線路追蹤DC線圈之不一致的距離。

在另一實施例中，該等開口鐵芯以保持所有鐵芯飽和之方式向著末端逐漸縮小。

在第15圖中所示的進一步實施例中，每個相位之鐵芯柱與一磁軛連接，但是在一端開口。

第19圖顯示了具有一單相開口鐵芯之FCL，具有以下細節：

- 鐵芯尺寸：100 mm x 100 mm x 570 mm
- 每個AC線圈鐵芯上的匝數：20
- DC偏壓線圈上的匝數：100

來自第19圖中所示的實驗配置之結果在第20至26圖中給出。較特別地，第20圖顯示了開口鐵芯FCL末端之間的以50Hz之量測的穩定狀態無故障插入阻抗。當施加足夠的DC偏壓時，插入阻抗之特性具有明顯的變化。在第20圖之部分A中，在最小插入阻抗以下，高導磁鐵芯之磁飽和在AC線圈之磁影響下沒有到達該鐵芯之全部體積。因此，所量測的插入阻抗是高的。

在第20圖之部分B中，高導磁鐵芯之磁飽和已達到AC線圈之影響的範圍。這顯示了至少等於AC線圈之高度的高導磁鐵芯之一區域必須被DC線圈飽和以獲得開口鐵芯

設計之最小插入阻抗。

第21圖顯示了針對一些不同電壓及電流位準之開口鐵芯FCL之無故障穩定狀態插入阻抗特性，且顯示了此數量獨立於AC電壓位準及電流位準。

第22圖中的暫態AC電流圖顯示了FCL被設於及未被設於測量電路中的故障電流。此資料顯示了故障電流之大的減少對於開口鐵芯FCL配置是可能的。

第23圖顯示了鋼鐵芯中量測的通量密度，在故障電流事件期間以時間為一函數。該故障電流有效地使AC線圈下的鋼鐵芯區域解飽和。這導致FCL在故障期間具有一高阻抗，因此具有有效、本征故障電流限制特性。

第24圖中所示的資料表示若高導磁鐵芯充分飽和使得引入DC線圈的暫態電壓可管理且在故障期間沒有不適當地有害。這類似於一般飽和FCL鐵芯設計。

第25圖顯示了量測的暫態故障電流波形，在允許AC線圈電阻及FCL AC線圈阻抗之穩定狀態無故障感應元件之後具有計算出的預期故障電流。故障電流從2000安培之峰值減少到1100安培之峰值之額外減少是由於在允許AC線圈電阻及穩定狀態無故障插入阻抗之後的磁化之額外變化。

第26圖顯示了在故障事件期間以一些不同DC偏壓電流值所量測的DC暫態電流。若鋼鐵芯被充分偏壓，則感應的暫態DC電流不大。

第27圖顯示了開口鐵芯FCL之一可選擇的實驗配

置，其在該等鐵芯之間包括磁軛且被設計用以減少低插入阻抗所需的DC偏壓安培匝。設計之細節如下：

- 高導磁鐵芯尺寸：100 mm x 100 mm x 570 mm(高)
- 磁軛尺寸：100 mm x 100 mm x 250 mm(高)
- 每個AC線圈鐵芯上的匝數：20
- DC偏壓線圈上的匝數：100

磁軛連接及無磁軛組態所獲得的插入阻抗結果之間的比較在第28圖中給出，其中磁軛連接及無磁軛的一開口鐵芯FCL之量測的50Hz無故障穩定狀態插入阻抗特性被顯示。

第29圖顯示了DC偏壓線圈內的鐵芯配置之磁軛將磁化曲線偏移至左邊，從而允許較少的安培匝被用以獲得最小插入阻抗。

第30圖顯示了磁軛連接的組態之插入阻抗之全部範圍，其顯示了以較低DC施加安培匝的此配置之故障阻抗之大的改良。

第31圖中的磁軛連接的開口鐵芯FCL實驗配置之故障電流圖顯示了與無FCL的一系統比較的磁軛連接的FCL之存在對各DC偏壓模式的區別。

AC線圈頂部量測的高導磁鐵芯材料中的磁通量密度也在第32圖中量測，表示了與無磁軛開口鐵芯實驗配置之相同的特性行為。

第33圖顯示了一系列不同偏壓位準之DC電路暫態電流波形。如同無磁軛開口鐵芯FCL配置，感應的暫態DC

電流對於被充分偏壓的鐵芯不大。

如該等實施例中所描述的配置DC與AC線圈之主要利益是AC線圈經歷DC線圈下的鋼鐵芯之全部DC通量密度。經典飽和FCL設計受到通過上下磁軛將通量從DC分肢傳到AC分肢之缺點，且繞著該鐵芯內的斜接連接器。該等實施例分配磁軛及AC側分肢，從而使得從DC傳到AC線圈的通量100%有效。

將瞭解的是，在所描述的實施例中，每個故障電流限制器包括以一高壓襯套之形式的至少一輸入端子以電氣連接於一提供一負載電流的電源(例如，一變壓器)。該等實施例中的每個也包括至少一輸出端子(也以一或多個高壓襯套之形式)以電氣連接一汲取負載電流的負載電路(例如，一電子分配系統)。也包括一磁飽和鐵芯及至少一AC線圈-一般一線圈針對負載電流之每個相位-繞在鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞輸入端子或多個輸入端子與輸出端子或多個輸出端子之間的負載電流。一DC線圈在鐵芯之至少一部分中感應一磁場且沿著接受該鐵芯及AC線圈的一縱向中間區域延伸。在所描述的實施例中，中間區域由個別槽界定。由DC線圈感應的磁場將該鐵芯磁性偏移，使得AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應負載電流之一或多個特性。

將瞭解的是，在許多應用中，特別是在一FCL需被回復安裝到一現存設備之情況下，可用於容納FCL之實際空間一般被限制。甚至較一般地，最大的物理限制是可用

於FCL的佔用空間。現在給出第35及36圖之參考，已描述了針對小佔用空間應用之單相開口鐵芯FCL被發展。該FCL包括以一高壓襯套之形式的一輸入端子以電氣連接於一提供一負載電流之電源(圖未示)。以又一高壓襯套之形式的一輸出端子與汲取負載電流的一負載電路(圖未示)電氣連接。一磁飽和鐵芯具有兩個類似的高導磁疊層鋼柱之形式，該等支柱縱向延伸且彼此端到端堆疊。一AC線圈具有兩個線圈線段，該兩線段部分相對地繞在該等柱之個別縱向長度部分以傳遞輸入端子與輸出端子之間的負載電流。以兩個隔開的次線圈之形式的DC線圈在該等支柱之至少一部分中感應一磁場且沿著接受鐵芯及AC線圈的一縱向中間區域延伸。在此實施例中，該區域由槽界定。該磁場使該等支柱磁性偏移，使得AC線圈從一低阻抗狀態轉移到低一高阻抗狀態，回應負載電流之一或多個特性。

又一小佔用空間實施例在第37及38圖中被描述。在此實施例中，使用一壓縮電源鐵芯。這在AC線圈之截面區域內提供比利用層疊能夠達成的填充因數更高的一填充因數之高導磁材料。因此，對於相同的佔用空間且假設其他都相同，則該實施例之FCL提供對第35及36圖之效能改良的效能。

在又一實施例，第37及38圖之FCL被發展以提供與第35及36圖之FCL相同的效能。由於較高的填充因數，此又一實施例具有比第37及38圖之FCL更小的佔用空間。

FCL之另一實施例在第39及40圖被描述。該實施例

是一三相開口鐵芯FCL，具有三對平行且縱向的共延鐵芯柱-一對鐵芯柱用於每個相位-用於整體定義該鐵芯。該等鐵芯柱具有不對稱的一常數及均一橫截面。該等鐵芯柱對包括磁軛，且該等鐵芯柱、該等相關的AC線圈以及磁軛都設於包含一介電媒介(也作為一冷卻媒介)的槽內。

第41及42圖描述了與第39及40圖類似的又一實施例，主要區別在於省略磁軛以進一步減少FCL佔用的體積空間。

將瞭解的是，第39至42圖中所描述的該等故障電流限制器包括具有不對稱支柱之類似的支柱，該等支柱相對於彼此排列以一般界定一套筒。該等支柱之此形狀及相對配置或相對方向也貢獻於FCL之一小的佔用空間。

在其他實施例中，不同的方法被用以最佳化FCL之佔用空間，或者解決一給定站台之任何協調規格。例如，給出第43圖之參考，第43圖描述了一包括一鐵芯之FCL，該鐵芯具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形橫截面支柱。相同相位之AC線圈的兩個線圈部分彼此上下排列。例如，在一站台之佔用空間被限制之情形中，開口鐵芯FCL之此組態被使用，且一較高的高度被允許。

又一實施例在第44圖中被描述，其中一FCL包括具有以並排3x2陣列排列的矩形橫截面支柱之一鐵芯。例如，在高度要求被限制之情形中，開口鐵芯FCL之此組態被使用，但是一較高的佔用空間被允許。

一FCL之又一例子在第45圖中被描述，包括具有以

一堆疊3x2陣列排列的矩形截面支柱之一鐵芯，且該等支柱被套在一起。

與已知的圖框型“閉合鐵芯”飽和鐵芯故障電流限制器比較，以上所描述的實施例具有以下優點：

- 所需的鋼之品質之大的減少，因此減少製造、運輸以及網站位置之成本。
- 對於類似的效能，佔用空間減少。在人口稠密的都市區域，這特別有利於容易設置。
- 在一超導體被用於DC偏壓線圈或多個DC偏壓線圈之情形中，一較低的低溫維持器表面面積。這產生較少穩定狀態周邊熱損失，以及一較低冷卻器電源要求。
- DC偏壓線圈及低溫維持器與AC相線圈及鋼鐵芯之機械去耦接。這允許油槽降低到DC線圈熱孔區域，或者該等DC線圈可降低到包含該等相線圈及鐵芯的油槽上。

相較於可選擇的故障電流限制器配置，例如電阻型、具有外部或內部電抗器之電阻型、屏蔽鐵芯、固態的，該飽和開口鐵芯故障電流限制器具有以下優點：

- 該開口鐵芯故障電流限制器不會傷害一保護導線且若超導體部分之任何層面失敗，並不需要與一保護導線隔離，無論其是DC線圈、真空系統或低溫系統。因此，該等實施例之開口鐵芯故障電流限制器固有地是安全的且在此等情形中能夠被置於保護

導線中。而且，與內部故障之警告或檢測相關的冗餘度能夠比必須切換服務以供一內部故障之設計更不嚴格。

- 沒有任何DC偏壓線圈(無論其是一超導體線圈或其他的)直接連接於柵格或電供應器之被保護的高壓或高電流導線。因此，簡單的、已建立且眾所周知的介電設計程序能夠被用以設計高壓部分。
- 液體冷卻器未被用作一AC電介質，因此與該等液體相關的問題不存在較佳實施例之設計中。
- 超導元件沒有受到故障電流。因此，在一故障期間，幾乎沒有DC線圈之電流及電壓感應。
- 在一故障期間，超導體沒有熄滅，因此能夠被用於導線內，其中自動重新關閉或正重新關閉邏輯被用在一保護導線之斷路器及隔離器上。

本說明書中關於“一實施例”之參考表示結合該實施例描述的一特定特徵、結構或特性被包括在本發明之至少一實施例中。因此，在本說明書中各處出現的詞語“在一實施例中”並不需要都指相同的實施例，而是可指相同的實施例。此外，特定特徵、結構或特性可以任何適合的方式合併，如該項領域內具有通常知識者在一或多個實施例中從該揭露顯而易見的。

類似地，應瞭解的是，在本發明之示範性實施例的以上描述中，本發明之各種特徵有時聚集在一個單一實施例、圖式或其描述中以簡化該揭露且幫助理解各個發明層

面中的一者或多者。然而，本揭露之方法並不被解讀為反映所主張的發明需要比每個申請專利範圍中明確闡述的特徵更多的特徵之意圖。而是，如同以下申請專利範圍所反映的，發明層面在於少於一個單一以上揭露的實施例之所有特徵。因此，以下申請專利範圍在此明確地併入本發明之描述，其中每個申請專利範圍主張其本身為本發明之一個別實施例。

本發明之進一步的實施例在序號為2009901138的澳大利亞申請案(於2009年3月16日提出申請)中被揭露，且其優先權被主張。該等實施例之細節以交互參照明確地被併入。

此外，雖然此處所描述的一些實施例包括一些特徵，且沒有包括在其他實施例中的其他特徵，但是如該項領域內具有通常知識者所理解的，不同實施例之特徵的組合-包括主張其優先權利益的專利說明書中所揭露的該等實施例-意指在本發明之範圍內且形成不同的實施例。例如，在以下申請專利範圍中，所主張的實施例中的任何可以任何組合被使用。

在此處提供的描述中，許多特定細節被闡述。然而，需明白的是，本發明之實施例可沒有該等特定細節被實踐。在其他情形中，眾所周知的方法、結構及技術已被詳細顯示以不模糊本描述之理解。

該項領域內具有通常知識者將認識到的是，其等是應用於被製造的特定設計之例子且具有不同結構細節的其

他設計之詳細結果將是不同的。結果之主要推斷及圖案被考慮。

雖然本發明已參考特定例子被描述，但是如該項領域內具有通常知識者所瞭解的，本發明可以許多其他形式實施。

【圖式簡單說明】

第1圖是一實驗FCL鐵芯結構之一示意圖；

第2圖描述了第1圖之結構上的一FEA分析之結果；

第3圖描述了具有重疊且同軸的AC線圈及DC線圈之一FCL之一閉合鐵芯結構-即，該兩線圈繞在閉合鐵芯之相同的分枝上；

第4圖描述了一實驗閉合鐵芯結構，具有用以允許研究插入阻抗之本質的相關探測線圈；

第5圖描述了利用第4圖之結構進行的實驗之結果；

第6圖總結了以上實驗結構之量測的插入阻抗結果；

第7圖是依據本發明的一三相位開口鐵芯故障電流限制器之一示意橫截面圖；

第8圖是第7圖之電流限制器中所示的兩個鐵芯柱上的繞組之電氣互連之一示意圖；

第9圖顯示了沿著第7圖之Z方向的一鐵芯之長度的磁場及相對導磁率之FEA分析結果；

第10圖顯示了沿著該等鐵芯之中的一直線且經過第7圖之X方向內的三個鐵芯柱的磁場之一圖式；

第11圖顯示了具有DC電流能量化的第7圖之一個單一

鐵芯柱之中心的磁場之一圖式；

第12圖顯示了在兩個飽和操作點周圍具有DC次漂移的第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式；

第13圖顯示了相對於DC線圈能量的第7圖之一鐵芯柱中間的相對導磁率之圖式且在50匝AC線圈中具有1000安培的電流；

第14圖顯示了第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式，以DC安培匝為一函數，且在AC線圈上具有全AC電流使得每個AC線圈產生的通量是相反的；

第15圖顯示了本發明之一可選擇的形式，顯示了相同的繞組互連且兩個鐵芯之間的底磁軛被保持；

第16圖顯示了一三相開口鐵芯FCL設計之一配置，具有三列及兩行鋼鐵芯且依據第8圖中詳細討論的在每個相位上具有電氣互連；

第17圖顯示了三相開口鐵芯FCL設計之一可選擇的配置，依據第8圖中詳細闡述的，具有兩列及三行鋼鐵芯，且在每個相位上具有電氣互連；

第18圖顯示了三相開口鐵芯FCL之一磁軛連接選擇且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第19圖顯示了被用於通量密度及AC穩定狀態無故障插入阻抗測量及故障電流限制特性之實驗配置且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第20圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之量測的無故障插入阻抗特性；

第21圖顯示了以不同AC電壓及電流的無故障穩定狀態插入阻抗特性；

第22圖顯示了一開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

第23圖顯示了開口鐵芯實驗配置之通量密度暫態特性圖；

第24圖顯示了當鐵芯飽和至超過AC線圈之影響區域的一範圍時的DC電路暫態電壓圖，且故障之存在被檢測為從 $t=0.08$ 秒開始的箭頭之間的電壓之輕微降低；

第25圖顯示了電路有以及無開口鐵芯FCL的實驗配置之暫態故障電流圖；

第26圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之DC電路暫態電流特性；

第27圖顯示了通量密度、AC無故障插入阻抗以及磁軛連接的FCL之故障電流限制能力的AC線圈與DC線圈之實驗配置，依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第28圖顯示了開口鐵芯磁軛FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗，與在具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第29圖顯示了磁軛連接與無磁軛的開口鐵芯配置之間量測的無故障插入阻抗比較，且與各種閉合鐵芯配置比較；

第30圖顯示了開口鐵芯磁軛連接的FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗且與具有相同尺寸之分肢的

無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第31圖顯示了一磁軛連接的開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

第32圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之通量密度圖，自繞在一鋼分肢周圍且位於一磁軛連接的開口鐵芯FCL之AC線圈頂部的一探測線圈獲得；

第33圖顯示了磁軛連接的開口鐵芯FCL實驗配置之DC電路暫態電流特性；

第34圖是一電子分配系統中的一FCL之一示意表示；

第35圖是一個單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中該鐵芯包括端對端連接的兩個鋼鐵芯柱；

第36圖是第35圖之FCL之一頂視圖；

第37圖是一單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中該鐵芯包括壓縮粉末之一個單一鐵芯柱；

第38圖是第37圖之FCL的一俯視圖；

第39圖是一FCL之又一實施例之一示意透視圖，具有一般為圓形的佔用空間且在該鐵芯之該等鐵芯柱之間包括磁軛；以及

第40圖是第39圖之FCL的一示意俯視圖；

第41圖是一FCL之一示意透視圖，類似於第39圖無該等磁軛的圖式；

第42圖是第41圖之FCL的一俯視圖；

第43圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；

第44圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一並排3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；以及

第45圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯，該等鐵芯柱以磁軛連接。

【主要元件符號說明】

- | | |
|----------|---------|
| 1 鐵芯柱 | 5 AC 線圈 |
| 2 DC 線圈 | 6 絕緣形成器 |
| 3 容器 | 7 絕緣遮罩 |
| 4 介電絕緣媒介 | |

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98111200

※申請日：98.4.3

※IPC 分類：

H02H 9/02 (2006.01)
H01F 6/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

故障電流限制器

A FAULT CURRENT LIMITER

二、中文發明摘要：

一種故障電流限制器包括用於整體界定該FCL之一鐵芯的一連串高導磁柱。用於使該等高導磁柱之一部分飽和的一DC線圈包圍以一容器之形式的一外殼外部的完整結構。該容器包含一介電絕緣媒介。用於傳遞AC電流的AC線圈繞在絕緣形成器上且以一方式彼此電氣互連，使得由對應高導磁鐵芯中的每個AC線圈產生的磁場之感測是相反的。相位之間具有絕緣遮罩以改良介電媒介之介電抵抗特性。

三、英文發明摘要：

A fault current limiter (FCL) includes a series of high permeability posts for collectively define a core for the FCL. A DC coil, for the purposes of saturating a portion of the high permeability posts, surrounds the complete structure outside of an enclosure in the form of a vessel. The vessel contains a dielectric insulation medium. AC coils, for transporting AC current, are wound on insulating formers and electrically interconnected to each other in a manner such that the senses of the magnetic field produced by each AC coil in the corresponding high permeability core are opposing. There are insulation barriers between phases to improve dielectric withstand properties of the dielectric medium.

七、申請專利範圍：

1. 一種用於併入一電子電路的故障電流限制器，該故障電流限制器包括一磁性飽和鐵芯以及至少一繞在該飽和鐵芯之一部分周圍的AC相線圈，其中該磁性飽和鐵芯以及該至少一AC相線圈容納在一外殼內且一DC偏壓線圈設於該外殼外部且包圍該外殼，在該電流限制器之無故障操作情形期間，該電流限制器將該鐵芯偏壓到磁性飽和以獲得低插入阻抗，但是在故障情形期間使該鐵芯去磁性飽和，從而在該電子電路中提供一增加的電流限制阻抗。
2. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其只包括一DC偏壓線圈。
3. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其包括兩個或多個DC偏壓線圈。
4. 如申請專利範圍第3項所述之故障電流限制器，其中該等DC偏壓線圈被隔開。
5. 如申請專利範圍第1至4項中的任何一者或多者所述之故障電流限制器，其中該DC偏壓線圈是一高溫超導體。
6. 如申請專利範圍第5項所述之故障電流限制器，其中該DC偏壓線圈與該至少一AC相線圈重合且同軸，使得該飽和鐵芯之該部分完全飽和。
7. 如申請專利範圍第6項所述之故障電流限制器，其中該磁性飽和鐵芯以鐵芯柱之一陣列的形式，其中多個AC相線圈彼此繞在該等鐵芯柱之個別鐵芯柱上且以一方

式電氣互連，使得由該等AC線圈產生的該等磁場之感測是相反的。

8. 如申請專利範圍第7項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱之截面是矩形的。
9. 如申請專利範圍第7或8項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱在一端由一磁軛連接且在另一端開口。
10. 如申請專利範圍第7至9項中的任何一項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱沿著其長度是常數橫截面。
11. 如申請專利範圍第7至10項中的任何一項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱向著其末端逐漸變細，從而在該限制器之無故障操作期間，該鐵芯之實質上所有飽和。
12. 如前述申請專利範圍中的任何一者所述之故障電流限制器，其中該限制器具有一開口鐵芯組態。
13. 如申請專利範圍第12項所述之故障電流限制器，其中至少等於該AC線圈之高度的該鐵芯之一區域實質上被該DC線圈完全飽和以在無故障操作條件期間獲得最小插入阻抗。
14. 如前述申請專利範圍中的任何一者所述之故障電流限制器，其中該磁性飽和鐵芯自一變壓器鋼層疊材料、軟鋼或其他磁性鋼、鐵酸鹽材料、一絕緣高導磁壓縮粉末或一鐵磁材料建構。
15. 如前述申請專利範圍中的任何一者所述之故障電流限制器，其中該磁性飽和鐵芯及該等AC相線圈浸入一電介

質中。

16.如申請專利範圍第15項所述之故障電流限制器，其中該電介質以一液體一或氣體之形式。

17.如申請專利範圍第1或2項所述之故障電流限制器，其中該DC偏壓線圈以一線路追蹤DC線圈之形式。

18.如前述申請專利範圍中的任何一者所述之故障電流限制器，其中除了該電介質之外，該外殼包括一冷卻裝置。

19.一種故障電流限制器，包括：

一輸入端子，用於電氣連接於一提供一負載電流之電源；

一輸出端子，用於與一負載電路電氣連接，且該負載電路汲取該負載電流；

一磁性飽和鐵芯；

一AC線圈，繞在該鐵芯之一縱向部分周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

一DC線圈，用於至少在該鐵芯之部分內感應一磁場且沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

20.如申請專利範圍第19項所述之故障電流限制器，包括兩個或多個DC線圈。

21.如申請專利範圍第20項所述之故障電流限制器，其中該等DC線圈被隔開。

- 22.如申請專利範圍第19項所述之故障電流限制器，在該低阻抗狀態中，該部分被磁性飽和。
- 23.如申請專利範圍第22項所述之故障電流限制器，在該低阻抗狀態中，該鐵芯在該部分之外縱向地磁性飽和。
- 24.如申請專利範圍第19至23項中的任何一者所述之故障電流限制器，其中在該高阻抗狀態中，該部分去磁性飽和。
- 25.如申請專利範圍第19至24項中的任何一者所述之故障電流限制器，其中在該低阻抗狀態中，該AC線圈之阻抗實質上等於該AC線圈之理論空氣鐵芯阻抗。

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (7) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|----------|---------|
| 1 鐵芯柱 | 5 AC 線圈 |
| 2 DC 線圈 | 6 絕緣形成器 |
| 3 容器 | 7 絕緣遮罩 |
| 4 介電絕緣媒介 | |

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

發明專利說明書

98.9.21

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98111200

※申請日：98.4.3

※IPC 分類：H02H 9/02 (2006.01)

H01F 6/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

故障電流限制器

A FAULT CURRENT LIMITER

二、中文發明摘要：

一種故障電流限制器包括用於整體界定該FCL之一鐵芯的一連串高導磁柱。用於使該等高導磁柱之一部分飽和的一DC線圈包圍以一容器之形式的一外殼外部的完整結構。該容器包含一介電絕緣媒介。用於傳遞AC電流的AC線圈繞在絕緣形成器上且以一方式彼此電氣互連，使得由對應高導磁鐵芯中的每個AC線圈產生的磁場之感測是相反的。相位之間具有絕緣遮罩以改良介電媒介之介電抵抗特性。

三、英文發明摘要：

A fault current limiter (FCL) includes a series of high permeability posts for collectively define a core for the FCL. A DC coil, for the purposes of saturating a portion of the high permeability posts, surrounds the complete structure outside of an enclosure in the form of a vessel. The vessel contains a dielectric insulation medium. AC coils, for transporting AC current, are wound on insulating formers and electrically interconnected to each other in a manner such that the senses of the magnetic field produced by each AC coil in the corresponding high permeability core are opposing. There are insulation barriers between phases to improve dielectric withstand properties of the dielectric medium.

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

發明領域

[0001]本發明是關於一種故障電流限制器。

5 [0002]本發明主要針對一高壓飽和鐵芯故障電流限制器發展且參看本申請案被描述。然而，本發明不限於特定使用領域，且也適用於低壓、中壓、超高壓以及特高壓故障電流限制器。

【先前技術】

10 發明背景

[0003]飽和鐵芯故障電流限制器(FCL)是已知的。半導體故障電流限制裝置之例子包括：

- Darmann等人的美國專利7193825。
- Yuan等人的美國專利6809910。
- 15 ● Boenig等人的美國專利7193825。
- Walker等人的美國專利申請案序號為2002/0018327。

[0004]所描述的故障電流限制是用於乾燥絕緣類型銅線圈配置，且實際上，只適用於使用空氣作為主絕緣媒介之DC飽和FCL。即，一多相FCL中的AC相線圈之間以及AC
20 相線圈與鋼鐵芯、DC線圈、低溫保持鐵芯與主結構之間的主靜態絕緣媒介藉空氣中一適合的距離提供。這實質上將FCL限於一“乾燥型”絕緣技術。乾燥型技術一般指不僅使用電絕緣銅線圈而且使用一般靜態空氣及隔離固體絕緣遮罩

材料作為絕緣媒介之平衡的變壓器構造技術。一般而言，空氣形成高壓端與FCL之接地元件之間的主要電絕緣材料。該等接地元件包括鋼框架及外殼。

5 [0005]乾燥型絕緣之使用將FCL限於較低電壓範圍之AC線壓，達到大約39kV。乾燥型及電抗器在商業上只可用於達到大約39kV之電壓位準。因此，DC飽和FCL之目前已證實的技術不適用於擴展到高電壓版本。乾燥型設計導致不能設計實際大小的緊湊結構，當處理較高電壓時，使用空氣作為一絕緣媒介。

10 [0006]針對FCL主要出現的市場之一是中壓至高壓(33kV至166kV)以及超高壓範圍(166kV至750kV)。當在該等電壓範圍內操作時，目前所描述的技術以及DC飽和FCL之文字描述不是實際的。主要原因是由於靜壓設計考慮-例如，高壓銅線圈與低溫維持器或鋼鐵芯或DC線圈之間的空氣絕緣媒介之崩潰。處於中壓至高壓的高壓相線圈(大於
15 39kV)一般需要浸入以下中的一者：

- 一絕緣氣體(例如，SF₆、氮氣或類似者)。
- 真空(較佳於10⁻³mbar)。
- 如一合成有機矽、植物油或用於媒介、高壓及超高
20 壓變壓器及電抗器技術中的一般可用的絕緣油此類的液體，

[0007]當一高壓裝置被浸入此一絕緣媒介時，該媒介一般被稱為“大絕緣媒介(bulk insulation medium)”或“電介質”。

[0008]一般而言，該電介質具有一大約2至4之等級的相對介電常數，除了具有等於1之相對介電常數的真空之外。此等所謂的電介質絕緣媒介若被精確使用(藉限制固體絕緣遮罩之間的最大距離且相對於特定液體或氣體電介質最佳化填充的電介質距離)，具有遠優於大氣壓的靜電崩潰強度特性。

[0009]一般可用的大絕緣氣體及液體一般具有10至20kV/mm之等級的崩潰強度，但是一般被使用使得平均電場應力不超過大約6至10kV/mm。崩潰應力值之此安全邊限是需要的，因為即使平均靜電場應力是6至10kV/mm，由於各種靜電場增強效應，沿著任何等電場線之峰值靜電場應力也可能是平均值的2至3倍。

[0010]一般而言，針對有外殼設備中的高壓大絕緣要求，具有一電介質液體或氣體之五個主要期望要求，例如變壓器及電抗器及故障電流限制器：

- 電介質必須顯示一非常高的電阻係數。
- 電介質損失必須非常低。
- 液體必須能夠容納固態絕緣材料，沒有降低該固態絕緣(例如，線圈繞組上的線圈絕緣或環氧樹脂漆)。
- 電崩潰強度必須高。
- 媒介必須能夠移除熱能損失。

[0011]對於如變壓器、電抗器及故障電流限制器此類的有外殼裝置，固體絕緣技術一般還不可用於中壓至高壓(即，以大於39kV的操作電壓)。固體絕緣技術之缺點是在

固體絕緣之體積或不相同的材料之表面之間存在不可避免的空穴，例如在線圈絕緣與其他固體絕緣材料之間。眾所周知的，在具有高壓的固體絕緣中的空穴由於電場增強效應而在空穴產生一高電壓應力。由於部分放電，這引起周圍材料之崩潰，且最終可能導致追蹤及完全裝置故障。

[0012]將認識到的是，當銅AC相線圈不再是一“乾燥型”構造或當完整的裝置之主絕緣媒介是空氣時，使用一個單一或多個DC線圈用於飽和銅鐵芯(例如，上述習知技術中所揭露的)之一DC飽和故障電流限制器造成基本的問題。此等配置中的一個大問題是存在用於冷卻DC HTS線圈的鋼低溫維持器以及DC HTS線圈本身。低溫維持器及線圈以及銅鐵芯相對於AC相線圈實質上處於接地電位。

[0013]作為一側面問題，但是增強了所有高壓裝置及設備之絕緣要求，基本絕緣設計也必須滿足一些電工程標準，其測試各類型的過壓之容限且在預定時間期間上點燃脈衝。在澳大利亞，此等標準之一例子如下：

- AS2374第3部分。包括全變壓器之電源頻率(PF)及發光脈衝(LI)測試之絕緣位準及電介質測試。
- AS2374第3.1部分。絕緣位準及電介質測試-空氣中的外部間隙。
- AS2374第5部分。抵抗短路之能力。

[0014]此等標準沒有形成高壓電介質設備必須滿足的標準之一詳盡列表。已認識到的是，每個國家具有涵蓋此等相同設計領域之本身的標準且個別國家之標準參考並不

需要排除任何其他國家之標準。理想地，一裝置被建構以滿足多個國家標準。

[0015]此等標準之附件產生該裝置之基本絕緣位準(BIL)或一般是多個基本AC線電壓之倍數的“設計絕緣位準”(DIL)。例如，一66kV中間電壓變壓器或其他有外殼的裝置(例如，一FCL)可具有220kV之BIL。滿足此標準之要求產生一靜壓設計，該靜壓設計比只考慮AC線電壓實際上較嚴格地滿足。可應用的標準及要求自一實際的電安裝在設備及裝置在一複雜網路內可能經歷的電壓經歷暫態而產生，例如隨著電壓發光以及切換湧入。因此，一電框架上的所有設備具有適用於期望最差情形暫態電壓之BIL或DIL。

[0016]針對高壓DC飽和故障電流限制器之靜電設計問題之初始考慮可能產生以下推論：該問題容易藉只將高壓AC銅線圈容納在一適合的電絕緣氣體或液體內被解決。然而，此技術之問題是鋼鐵芯必須通過裝有氣體或液體的容器。設計長期服務之此介面難以機械解決。然而，較重要地靜電解決介面問題複雜得多且任何解決方法可能容易失敗或證明是浪費的。問題是必須發展包含藉電介質液體的容器與高導磁鐵芯之間之密封，或者一種將HTS低溫維持器與液體隔離的方法。

[0017]另一可能性是在相位之間以及相位與鋼鐵芯及低溫維持器或在銅相位線圈周圍且與該等相位線圈緊密接觸的一高電壓絕緣層之間使用固體高壓遮罩。然而，這具

有一大的有害負面影響。已知空氣與具有一較高相對介電常數的其他材料之一組合中的靜電場是，其在該材料或具有較低導磁率之液體(即，空氣)中產生增強的電場。例如，考慮具有一一般絕緣層的導電銅套筒表示匝對匝絕緣，依據方程式1：

$$E = \frac{U_m}{x \left[\frac{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\epsilon_2/\epsilon_1} + \frac{\ln\left(\frac{d}{R}\right)}{1} \right]}$$

方程式1

其中

- U_m =相對地的AC相電壓。
- R =包括外絕緣的一銅套筒之半徑[mm]。
- 10 ● r =裸銅套筒之半徑[mm]。
- d =套筒之中心與最近的地平面之距離[mm]。
- ϵ_2 =覆蓋套筒之絕緣的相對介電常數。
- ϵ_1 =浸沒套筒的大絕緣之相對介電常數(對於空氣等於1)。
- 15 ● x =套筒之中心與套筒外部的一點之距離[mm]。
- E_x =點 x 的靜電場梯度[kV/mm]

[0018]場增強效應由因數 ϵ_2/ϵ_1 表示且除了使用具有等於1之相對導磁率之真空之情形之外，對於一般日常材料以2至4之等級。藉提供額外的固體或其他絕緣材料(具有比空氣更高的介電常數)，FCL之大空氣絕緣中的靜電應力增加。高壓絕緣之品質越佳，場增強效應越高。

[0019]因此，一空氣絕緣FCL中的固體介電絕緣遮罩對於以大於39kV之高壓FCL不是一技術上期望的選擇，且並不視此技術被用以製造以大於(例如)39kV之高壓乾燥型變壓器。實際上，至今沒有發現高度適用的技術，這是為什麼高於39kV之超高壓變壓器以一介電液體或氣體絕緣。

[0020]以上討論是有外殼的高壓電設備一般被完全浸入電絕緣介電液體或氣體之原因。即，絕緣銅線圈以及變壓器與電抗器之鋼鐵芯容納在一容器內，且該容器被裝滿是一液體的電介質媒介。這實質上減少以上討論中詳細討論的靜電壓設計問題。該絕緣媒介(例如油、真空或SF₆)填充高壓元件與實質上接地或處於中性電位的元件之間所有的空穴及大距離。在此情形中，固體絕緣遮罩可併入大絕緣電介質，且對於如油此類之許多的液體，將大距離除以固體絕緣改良了整體靜電絕緣之品質，藉增加電介質液體之崩潰場強度。這是因為油與固體絕緣之相對介電常數彼此非常接近(因此場增強效應相較於空氣被減少)，且大介電媒介之崩潰電壓(以Kv/mm表示)改良了絕緣遮罩之間較小的距離。

[0021]全浸沒技術之一大的問題是其不易適用於一DC飽和FCL設計或包含一超導體線圈作為DC飽和元件之其他裝置。這是因為超導體線圈及其低溫維持器或真空容器是也必須浸入介電液體的FCL之一元件。

[0022]本文已建立的本體針對一市場上可行且可製造的FCL具有四個主要準則：

- 它必須具有一低插入阻抗，使得當沒有故障且當提供峰值電源流時它不可見於網路。
 - 它不應產生多於0.5%諧波之總的諧波失真值(THD)或如終端使用者所要求的。
- 5 ● 它必須提供一適合的故障電流夾，在20至80%之間。
- 該設計必須擴大到AC電壓(大於6kV)及高AC電流(大於0.6kA)。

[0023]習知領域中詳述的經典飽和鐵芯FCL設計受到不適用於高壓及高AC電流設計之大的缺點。這兩個缺點都源於缺少一冷卻劑(除了空氣之外)及/或一液體或氣體電介質。

10

[0024]即使一液體或氣體電介質被用於經典飽和FCL設計，仍需要大的擴增以允許存取冷卻器、低溫維持器以及低溫維持器導管。除此之外，用以將靜電維持器(電能、電信號)與電介質饋通之特別密封必須被製造及測試。

15

[0025]在高AC電流設計中，用以傳導所需的電流之銅的截面區域比當只考慮空氣冷卻設計時高很多。此截面區域面積達到高5倍是正常的。這可能使AC線圈之尺寸太大而不能容納最小鐵芯框架磁軛大小，從而需要一較大的磁軛以維持靜電間隙。這增加了一般空氣冷卻/空氣絕緣飽和FCL之佔用空間及品質。

20

[0026]本說明書中的習知領域之任何討論不應以任何方式被認為承認此習知領域是眾所周知的或形成該領域內一般知識之部分。

【發明內容】

發明概要

[0027]本發明之較佳實施例之一目的是改進以上闡述的缺點中的一者或多者以提供一有用的選擇。

- 5 [0028]本發明之較佳實施例之另一目的是克服以上闡述的缺點中的一者或多者，藉利用一FCL將AC與DC線圈之習知相對位置反向。該等實施例允許全部結構浸入一電介質中。

- 10 [0029]依據本發明之一第一層面，已提供一高壓故障電流限制器，該高壓故障電流限制器包括一磁性飽和鐵芯以及至少一繞在該飽和鐵芯之一部分周圍的AC相線圈，其中該磁性飽和鐵芯以及該至少一AC相線圈容納在一外殼內且一DC偏壓線圈設於該外殼外部且包圍該外殼，在無故障操作情形期間，該電流限制器將該鐵芯偏壓到磁性飽和以
15 獲得低穩定狀態無故障插入阻抗，但是在故障情形期間使該鐵芯脫離磁性飽和，從而在該電子電路中提供一增加的電流限制阻抗。

- [0030]在一實施例中，該高導磁率鐵芯自一變壓器銅層疊材料；一軟鋼；或其他形式的磁鋼、鐵酸材料或一鐵磁
20 材料中的一者或多者選擇。

[0031]在一實施例中，該鐵芯以一矩形陣列的鐵芯柱之形式，其中多個AC相線圈彼此繞在該等鐵芯柱之個別鐵芯柱上且以一方式電氣互連，使得由該等AC線圈產生的該等磁場之感測是相反的。

[0032]在一實施例中，該故障電流限制器包括一包圍該等AC線圈的容器，用於包含一介電絕緣媒介以及該等AC線圈之冷卻媒介。

5 [0033]在一實施例中，該DC線圈是一超導體且較佳的是容納在一低溫維持器內的高溫超導體且被一冷卻器冷卻。

[0034]在一實施例中，該DC偏壓線圈與該等AC相線圈之同軸重合，使得該飽和鐵芯之該部分完全飽和。

10 [0035]在一實施例中，該磁性飽和鐵芯及AC線圈浸入一電介質內，且該電介質以一固體、液體或氣體之形式且包括任何大氣中的空氣，包括真空。

[0036]在一實施例中，該等鐵芯柱之截面是矩形的且沿著其長度的截面是常數。

15 [0037]在一實施例中，該磁性飽和鐵芯自一變壓器銅層疊材料、軟鋼或其他磁性鋼、鐵酸鹽材料、一絕緣高導磁壓縮粉末或一鐵磁材料建構。

[0038]在一實施例中，該等鐵芯柱向著其末端逐漸縮小，從而在該電流限制器之無故障操作期間，實質上所有該鐵芯飽和。

20 [0039]依據本發明之一第二層面，已提供一種故障電流限制器，包括：

一輸入端子，用於電氣連接於一提供一負載電流之電源；

一輸出端子，用於與一負載電路電氣連接，該負載

電路汲取該負載電流；

一磁性飽和鐵芯；

一AC線圈，繞在該鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

5 至少一DC線圈，用於在該鐵芯之至少部分內感應一磁場且沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

10 [0040]在一實施例中，在該低阻抗狀態中，該部分被磁性飽和。

 [0041]在一實施例中，在該低阻抗狀態中，該鐵芯縱向地磁性飽和，超出該部分。

 [0042]在一實施例中，在該高阻抗狀態中，該部分去磁性飽和。

15 [0043]在一實施例中，在該低阻抗狀態中，該AC線圈之阻抗實質上等於該AC線圈之理論空氣鐵芯阻抗。

 [0044]在一實施例中，該一或多個特性中的一者是將該負載電流增加超過一預定電流值。

20 [0045]在一實施例中：

 該鐵芯包括多個鐵芯柱；

 該縱向部分在該等鐵芯柱之間分割；以及

 該AC線圈包括繞在個別鐵芯柱周圍的多個線圈部分。

 [0046]在一實施例中，該等鐵芯柱是平行的。

[0047]在一實施例中，該等鐵芯柱縱向延伸。

[0048]在一實施例中，每個鐵芯柱具有一實質上均一的橫向截面。

5 [0049]在一實施例中，該等鐵芯柱實質上類似橫向截面。

[0050]在一實施例中，該等鐵芯柱之橫向截面具有至少一對稱軸。

[0051]在一實施例中，該等鐵芯柱之橫向截面是對稱的。

10 [0052]在一實施例中，該等鐵芯柱在中間區域實質上共同延伸。

[0053]在一實施例中，該等鐵芯柱彼此分開。

[0054]在一實施例中，該等鐵芯柱縱向地延伸，超出該等DC線圈。

15 [0055]在一實施例中，該等線圈線段在該中間區域實質上縱向地共同延伸。

[0056]在一實施例中，該AC線圈縱向地延伸，超出該等DC線圈。

20 [0057]在一實施例中，每個鐵芯柱縱向地延伸，超出個別AC線圈。

[0058]在一實施例中，該負載電流包括三個相位，且該故障電流限制器包括針對個別相位之三對輸入端子以及輸出端子。

[0059]在一實施例中，該故障電流限制器包括以三對配

置的六個鐵芯柱，其中每對鐵芯柱與用於傳遞負載電流之對應相位的個別輸入與輸出端子對相關聯。

[0060]在一實施例中，每對鐵芯柱中的鐵芯柱藉磁軛連接在一起。

- 5 [0061]在一實施例中，每個鐵芯柱包括縱向端，且每個鐵芯柱之至少一端連接於相同鐵芯柱對中的另一鐵芯柱之一相鄰端。

[0062]在一實施例中，每個鐵芯柱之兩端藉磁軛連接於相同鐵芯柱對中的另一鐵芯柱之個別相鄰端。

- 10 [0063]在一實施例中，該等鐵芯柱藉一高導磁材料機械且實體連接。

[0064]在一實施例中，每對鐵芯柱中的該等鐵芯柱彼此相鄰且包括隔開的相對面。

[0065]在一實施例中，該等相對面實質上是平面的。

- 15 [0066]在一實施例中，該等相對面實質上是平行的。

[0067]在一實施例中，該等相對面實質上是共延的。

[0068]在一實施例中，該故障電流限制器包括用於界定中間區域之一外殼。

[0069]在一實施例中，該外殼包含一介電材料。

- 20 [0070]在一實施例中，該AC線圈容納在電介質內。

[0071]在一實施例中，該等DC線圈各自包括一高導電材料。

[0072]在一實施例中，該高導電材料自以下選擇：銅；鋁；一高溫超導材料；以及低溫超導材料。

[0073]依據本發明之一第三層面，已提供一種限制電流的方法，該方法包括以下步驟：

提供一輸入端子，該輸入端子用於電氣連接於一提供一負載電流之電源；

5 提供一輸出端子，該輸出端子用於電氣連接於一汲取該負載電流之該負載電路；

提供一磁性飽和鐵芯；

將一AC線圈繞在該鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

10 利用至少一DC線圈在該鐵芯之至少部分內感應一磁場，其中該DC線圈沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，且其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

15 [0074]依據本發明之一第四層面，已提供一種故障電流限制器，其包括：

一輸入端子，用於電氣連接於一提供一負載電流之電源；

20 一輸出端子，用於電氣連接一負載電路，該負載電路汲取該負載電流；

一磁性飽和鐵芯；

一AC線圈，繞在該鐵芯之一縱向長度周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

至少一DC線圈，位於具有該AC線圈的一開口鐵芯

配置中以在該鐵芯之至少部分內感應一磁場，該DC線圈
沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其
中該磁場將該鐵芯磁性偏移，使得該AC線圈從一低阻抗
狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個
5 特性。

[0075]依據本發明之一第五層面，已提供一種利用一故障電流限制器限制電流的方法，該方法包括：

將一電源電氣連接於一輸入端子以提供一負載電
流；

10 將一負載電路連接於一輸出端子以汲取該負載電
流；

提供一磁性飽和鐵芯；

提供一AC線圈，該AC線圈繞在該鐵芯之一縱向部
分周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的負載電
15 流；以及

提供至少一DC線圈，該至少一DC線圈位於具有該
AC線圈的一開口鐵芯配置中以在該鐵芯之至少部分內
感應一磁場，該DC線圈沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性偏移，
20 使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回
應該負載電流之一或多個特性。

[0076]依據本發明之一第六層面，已提供一種故障電流限制器，其包括：

三個輸入端子，用於電氣連接於一提供一三相位負

載電流的一三相位電源之個別相位；

三個輸出端子，用於與汲取該負載電流之一負載電路之個別相位電氣連接；

5 一磁性飽和鐵芯，具有三對鐵芯柱，每個鐵芯柱具有一縱向部分；

三個AC線圈，繞在個別鐵芯柱對之部分的周圍以傳遞該輸入端子與該輸出端子之間的負載電流；以及

10 至少一DC線圈，用於至少在該等部分內感應一磁場且沿著接受該等鐵芯柱及該等AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

[0077]在一實施例中，每個AC線圈包括各自繞在鐵芯柱對中的該等鐵芯柱之個別部分周圍的兩個線圈線段。

15 [0078]依據本發明之一第七層面，已提供一種利用一故障電流限制器限制電流之方法，該方法包括以下步驟：

電氣連接於一三相位電源三輸入端子之個別相位以提供一三相位負載電流；

20 與一用於汲取該負載電流之一負載電路三輸出端子之個別相位電氣連接；

提供一磁性飽和鐵芯，具有三對鐵芯柱，每個鐵芯柱具有一縱向部分；

提供三個AC線圈，該三個AC線圈繞在個別鐵芯柱對之部分周圍以傳遞該等輸入端子與輸出端子之間的該負載電

流；以及

提供至少一DC線圈以在至少該等部分中感應一磁場且沿著接受該等鐵芯柱及該等AC線圈的一縱向中間區域延伸，其中該磁場使該鐵芯柱磁性偏移，使得該AC線圈從
5 一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之一或多個特性。

[0079]依據本發明之一第八層面，已提供一故障電流限制器之鐵芯，該鐵芯包括至少一縱向延伸的鐵芯柱，且該鐵芯柱具有磁性飽和且當使用時容納在一AC線圈之個別
10 線圈線段內的至少兩部分，且該AC線圈容納在一DC線圈中。

[0080]在一實施例中，該等部分被隔開。

[0081]在一實施例中，該鐵芯包括兩個類似的平行鐵芯柱，具有個別部分。

15 [0082]在一實施例中，該等鐵芯柱以磁軛連接在一起。

[0083]在一實施例中，該等鐵芯柱彼此以磁軛連接在一起。

[0084]在一實施例中，每個鐵芯柱在一第一端與一第二端之間延伸，其中該等鐵芯柱中的一者之第一端與第二端
20 與另一鐵芯柱之第一端及第二端分別相鄰。

[0085]在一實施例中，該鐵芯包括一磁軛，該磁軛用於在該等第一端之間延伸以將該等鐵芯柱彼此以磁軛連接。

[0086]在一實施例中，該鐵芯柱包括又一磁軛，該又一磁軛用於在該等第二端之間延伸以將該等鐵芯柱彼此以磁

軛連接。

[0087]在一實施例中，該等鐵芯柱包括鐵芯柱層疊。

[0088]在一實施例中，該等磁軛包括磁軛層疊。

5 [0089]在一實施例中，該等鐵芯柱層疊及該等磁軛層疊
交錯。

[0090]在一實施例中，該鐵芯包括六個以三對排列之縱
向延伸的鐵芯柱。

[0091]依據本發明之一第九層面，已提供一種包括本發
明之第八層面之一鐵芯的一故障電流限制器。

10 [0092]依據本發明之一第十層面，已提供一電子分配系
統，該電子分配系統包括本發明之第一、第二、第四、第
六及第九層面中的一者之至少一故障電流限制器。

[0093]本說明書中關於“一實施例”之參考表示結合該
實施例描述的一特定特徵、結構或特性被包括在本發明之
15 至少一實施例中。因此，在本說明書中各處出現的詞語“在
一實施例中”並不需要都指相同的實施例，而是可指相同的
實施例。此外，特定特徵、結構或特性在一或多個實施例
中可以任何適合的方式合併，如該項領域內具有通常知識
者從該揭露顯而易見的。

20 [0094]如此處所使用的，除非特別指出序數形容詞“第
一”、“第二”、“第三”等之用途以描述一般物件，否則僅表
示類似物件之不同例子被參考且並不期望表示所描述的物
件必須以一給定序列，以時間、空間、等級或以任何其他
方式。

圖式簡單說明

[0095]本發明之目前較佳實施例現在參看以下附圖被描述，其中：

第1圖是一實驗FCL鐵芯結構之一示意圖；

5 第2圖描述了第1圖之結構上的一FEA分析之結果；

第3圖描述了具有重疊且同軸的AC線圈及DC線圈之一FCL之一閉合鐵芯結構-即，該兩線圈繞在閉合鐵芯之相同的分枝上；

10 第4圖描述了一實驗閉合鐵芯結構，具有用以允許研究插入阻抗之本質的相關探測線圈；

第5圖描述了利用第4圖之結構進行的實驗之結果；

第6圖總結了以上實驗結構之量測的插入阻抗結果；

第7圖是依據本發明的一三相位開口鐵芯故障電流限制器之一示意橫截面圖；

15 第8圖是第7圖之電流限制器中所示的兩個鐵芯柱上的繞組之電氣互連之一示意圖；

第9圖顯示了沿著第7圖之Z方向的一鐵芯之長度的磁場及相對導磁率之FEA分析結果；

20 第10圖顯示了沿著該等鐵芯之中的一直線且經過第7圖之X方向內的三個鐵芯柱的磁場之一圖式；

第11圖顯示了具有DC電流能量化的第7圖之一個單一鐵芯柱之中心的磁場之一圖式；

第12圖顯示了在兩個飽和操作點周圍具有DC次漂移的第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式；

第13圖顯示了相對於DC線圈能量的第7圖之一鐵芯柱中間的相對導磁率之圖式且在50匝AC線圈中具有1000安培的電流；

5 第14圖顯示了第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式，以DC安培匝為一函數，且在AC線圈上具有全AC電流使得每個AC線圈產生的通量是相反的；

第15圖顯示了本發明之一可選擇的形式，顯示了相同的繞組互連且兩個鐵芯之間的底磁軛被保持；

10 第16圖顯示了一三相開口鐵芯FCL設計之一配置，具有三列及兩行鋼鐵芯且依據第8圖中詳細討論的在每個相位上具有電氣互連；

第17圖顯示了三相開口鐵芯FCL設計之一可選擇的配置，依據第8圖中詳細闡述的，具有兩列及三行鋼鐵芯，且在每個相位上具有電氣互連；

15 第18圖顯示了三相開口鐵芯FCL之一磁軛連接選擇且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第19圖顯示了被用於通量密度及AC穩定狀態無故障插入阻抗測量及故障電流限制特性之實驗配置且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

20 第20圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之量測的無故障插入阻抗特性；

第21圖顯示了以不同AC電壓及電流的無故障穩定狀態插入阻抗特性；

第22圖顯示了一開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以

DC偏壓為一函數；

第23圖顯示了開口鐵芯實驗配置之通量密度暫態特性圖；

5 第24圖顯示了當鐵芯飽和至超過AC線圈之影響區域的一範圍時的DC電路暫態電壓圖，且故障之存在被檢測為從 $t=0.08$ 秒開始的箭頭之間的電壓之輕微降低；

第25圖顯示了電路有以及無開口鐵芯FCL的實驗配置之暫態故障電流圖；

10 第26圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之DC電路暫態電流特性；

第27圖顯示了通量密度、AC無故障插入阻抗以及磁軛連接的FCL之故障電流限制能力的AC線圈與DC線圈之實驗配置，依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

15 第28圖顯示了開口鐵芯磁軛FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗，與在具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第29圖顯示了磁軛連接與無磁軛的開口鐵芯配置之間量測的無故障插入阻抗比較，且與各種閉合鐵芯配置比較；

20 第30圖顯示了開口鐵芯磁軛連接的FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗且與具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第31圖顯示了一磁軛連接的開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

第32圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之通量密度圖，
自繞在一鋼分肢周圍且位於一磁軛連接的開口鐵芯FCL之
AC線圈頂部的一探測線圈獲得；

第33圖顯示了磁軛連接的開口鐵芯FCL實驗配置之DC
5 電路暫態電流特性；

第34圖是一電子分配系統中的一FCL之一示意表示；

第35圖是一個單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其
中該鐵芯包括端對端連接的兩個鋼鐵芯柱；

第36圖是第35圖之FCL之一頂視圖；

10 第37圖是一單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中
該鐵芯包括壓縮粉末之一個單一鐵芯柱；

第38圖是第37圖之FCL的一俯視圖；

第39圖是一FCL之又一實施例之一示意透視圖，具有
一般為圓形的佔用空間且在該鐵芯之該等鐵芯柱之間包括
15 磁軛；以及

第40圖是第39圖之FCL的一示意俯視圖；

第41圖是一FCL之一示意透視圖，類似於第39圖無該
等磁軛的圖式；

第42圖是第41圖之FCL的一俯視圖；

20 第43圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊
3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；

第44圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一並排
3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；以及

第45圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊

3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯，該等鐵芯柱以磁軛連接。

【實施方式】

較佳實施例之詳細說明

5 [0096]雖然一些實施例在以下被描述，但是本發明之進一步實施例在序號為2009901138的澳大利亞專利申請案(於2009年3月16日提出申請)中被揭露，且其優先權被主張。此等實施例之細節在此透過參照方式被明確地併入本文。

10 [0097]參看第1-6圖之以下描述期望提供與本發明之實施例有關的內容給讀者。

 [0098]首先，闡述較佳實施例之經常被使用的參數特徵，包括：

- A_{core} ：AC線圈下的高導磁鐵芯之截面面積
- 15 ● N_{ac} ：AC匝之數目；
- N_{dc} ：DC匝之數目；
- I_{dc} ：DC線圈電流[amps]；
- I_{ac} ：AC線圈電流[amps,rms]；
- f ：電子系統之頻率；
- 20 ● Z_b ：被保護的電子系統之基本阻抗；
- Z_+ ：該電子系統之正序列阻抗；
- I_{fb} ：該系統之預期故障電流；
- I_{fr} ：期望減少的故障電流

[0099]故障電流限制及插入阻抗是以上參數之函數。

[0100]該項領域內具有通常知識者眾所周知的是，如FCL之領域內所需的一高導磁率結構之磁化易由於以下兩個主要影響而產生通量損失；

- DC偏壓線圈周圍的磁場線之邊緣散射且通過一純空氣路徑返回。
- 部分空氣/鐵芯通量返回，其中通量進入鐵芯但是通過一空氣路徑(代替一全高導磁率路徑)返回。

[0101]例如，一FEA分析在第1圖中所示的鐵芯結構上進行。此鐵芯結構之相關特性是：

- 視窗大小寬度=290mm。
- 視窗大小高度=350mm。
- 材料：M6層疊鋼鐵芯。
- 層疊被用以建構鐵芯：0.35mm步重疊鐵芯結構。
- 鐵芯之截面積：150 mm x 150 mm

[0102]其他實驗細節在第1圖中顯示且較完整的結果在第2圖中所示。

[0103]已發現在遠的外分肢及磁軛中具有磁通量密度之損失。以下表1總結了第1圖鐵芯結構在最大通量密度點的結果。

表1：第1圖之原型鐵芯之基本通量密度結果

位置	被使用的探測線 圈圈數	通量密度 (T)
內分肢之中心	6	2.12
接近DC線圈的內分肢	5	2.07

位置	被使用的探測線 圈圈數	通量密度 (T)
靠近DC線圈的頂磁軌	4	2.01
遠離DC線圈的頂磁軌	3	2.01
外分肢之頂部	2	1.96
外分肢之中心	1	1.95

[0104]此處所描述的影響對於該項領域內具有通常知識者是眾所周知的。從2.12特斯拉到1.95特斯拉之AC鐵芯側通量密度之減少一開始可能不被認為是一缺點。然而，這是對AC線圈之次迴路測量，揭露了問題。雖然DC側線圈次迴路產生接近1.0之平均相對導磁率(如同一飽和鐵芯所期望的)，但是以相同等級之DC線圈電流所量測的次迴路揭露一86之相對導磁率。這對該裝置產生一高插入阻抗，且也揭露了AC側鐵芯未完全飽和，因此觀察到B-H曲線之經典平滑。

[0105]用以減少通量密度損失且保持AC側之鐵芯飽和的方法包括：

- 使用穿過該框架的鐵芯之一較高截面積。
- 鋼之非一致橫截面。
- 減少AC與DC線圈之間的鋼之總磁長度以製造一低剖面鐵芯結構。

[0106]然而，作為此等方法之一選擇，將AC線圈設於近側分肢也是實際的，如第3圖中所示。

[0107]利用此技術，該等AC線圈直下方的該等分肢內

的通量密度實質上與該等DC線圈直下方的相同。

[0108]在穩定狀態操作期間，來自AC線圈的通量必須使得被影響的鋼鐵芯之部分內的磁通量密封未飽和或者被實質上改變。這將導致高於最小可能的插入阻抗且在穩定狀態無故障AC波形中產生諧波分量。

[0109]在故障限制活動中，自AC線圈產生的通量消除了鋼鐵芯中的通量、對鋼鐵芯之一部分解飽和且引起AC線圈之終端阻抗上升。

[0110]在此特定配置中，也將認識到的是，外磁軛及分枝不再被需要-只有中間的分枝被需要。

[0111]與包含AC線圈的分枝中的通量密度之損失相關的問題也與無故障狀態中的一較高穩定狀態阻抗(也被稱為插入阻抗)相關聯。與一AC線圈相關的插入阻抗與通量密度之梯度對磁動力(MMF)圖直接成正比。若在AC線圈之影響下的鐵芯之部分沒有完全飽和至其斜率被最小化的一點，則插入阻抗實際上是高的。

[0112]為了描述插入阻抗之本質，一實驗配置在第4圖被建構以針對一鐵芯上的AC線圈相對於DC線圈之各個位置測量插入阻抗。一鐵芯及線圈結構利用以下表2及表3中所示的細節被建構。

表 2

	I.D. (mm)	O.D. (mm)	高度 (mm)	匝數	層數	電阻 (歐姆)	導線直 徑 (mm)
探測線圈			15	25.5	1	1.70	0.5
DC線圈	160	184	280	171	3		4.0
形成器 (DC)	150	160	280				
鐵芯視窗 內部大小	650 (H) X 450 (W) mm						
鐵芯截面	100 X 100 mm						

表 3

鐵芯填充因數	0.96
使用的積分通量計	Walker Magnet
通量計設定	$25.5 \times 0.96 \times 100 = 2448$
銅DC線圈被使用 (沒有超導體)	
所有鋁結構&支撐 - 沒有軟鋼被使用	
探測線圈直接繞在鐵芯上	
M6層疊鋼鐵芯 (0.35 mm厚層疊)	

- 5 [0113]現在給出第5圖之參考。DC側上的飽和之確認利用探測線圈及霍爾探針得到。在插入阻抗測量期間沒有被使用的鐵芯中引入一1.3mm空氣間隙之需求必須使用霍爾探針。

[0114]用於測量插入阻抗之實驗配置之其他細節包括：

- DC電流=100安培DC
- AC電壓=50V AC
- AC電壓及電流之頻率：50Hz
- AC電流=28安培AC
- 5 ● AC匝=50
- AC線圈電阻=0.10歐姆

[0115]第6圖總結了所量測的插入阻抗結果。最小的插入阻抗利用一致的線圈配置以及飽和之所需的DC線圈上的安培匝之最小數目達成。所有其他配置(包括AC線圈在與DC線圈之分枝相同的分枝且靠近DC線圈)產生一較高的插入阻抗。

[0116]以安培匝為一函數的插入阻抗之測量已證實在AC線圈之影響下的高導磁鐵芯不僅必須飽和而且必須“超飽和”以具有理論上最小的插入阻抗。

15 [0117]如第34圖中所示，故障電流限制器(FCL)位於電分配變電站。FCL主要被包括是用以限制一變壓器之故障電流，這也被描述。當一變電站包括多於一個變壓器時，可能針對每個變壓器具有一個別FCL。然而，在一些實施例中，一變電站中不是所有的變壓器都具有一相關FCL。

20 [0118]該FCL在下流電氣連接於該變電站是其一部分的一電分配系統。

[0119]在其他實施例中，變壓器及FCL位於不是一變電站的一裝置內。指示性的例子包括一共產生器與其餘網格之間的一工業站分配網路；且防止主電網受到一風場、波

產生器、水產生器或太陽能場之故障電流貢獻。

[0120]對於第34圖之實施例，電站是一燒煤的電站。然而，在其他實施例中，電站是一水站、一核電站以及一風產生電站中的一者或多者。

5 [0121]參看第7圖，已描述了依據本發明之一實施例的以一三相開口鐵芯FCL配置的一連串高導磁鐵芯柱1。Z方向被定義為沿著高導磁鐵芯之縱向方向。該等鐵芯柱自變壓器層疊製造，且該等層疊之旋轉方向沿著Z軸。

[0122]將瞭解的是，鐵芯柱1整體界定FCL之一鐵芯。

10 [0123]該等高導磁柱1是變壓器銅層疊材料。在其他實施例中，利用軟鋼或其他形式的磁鋼鐵酸鹽材料或鐵磁材料或細粒材料製造，例如自增強鐵磁粉末製造的一鐵芯或一玻璃無定形鐵芯。

15 [0124]為了使高導磁柱1之一部分飽和，一DC線圈2包圍外殼外部的完整結構。詞語“包圍”或類似者被用以描述線圈2環繞外殼或槽。即，DC線圈沿著接受鐵芯及AC線圈的一縱向中間區域延伸。在所描述的實施例中，該鐵芯或AC線圈或多個線圈設於一槽或其他外殼內，且該DC線圈包圍該外殼。這提供較佳實施例之一些封裝及效能優點。
20 如以下將闡述的，該等實施例之中間區域由個別槽定義。

[0125]一容器3包含一介電絕緣媒介4。此媒介也是用於該等AC線圈之一冷卻媒介且可以是周圍的大氣。

[0126]具有用於傳遞繞在絕緣形成器6上且以一方式彼此電氣連接之AC線圈5，使得在對應高導磁鐵芯內的每個

AC線圈產生的磁場之感測是相對的。

[0127]具有相位之間的絕緣遮罩7以改良介電媒介之介電抵抗特性。

[0128]較佳地，DC線圈2也是一超導體且較特別地，其是設於一低溫維持器內且被一冷卻器(圖未示)的一高溫超導體。

[0129]第8圖顯示了第7圖之結構中的兩AC線圈之電子互連，顯示了繞組相對於彼此的感測及方向。

[0130]舉例而言，第7圖中所示的一種開口鐵芯飽和FCL藉使用FEA被分析。針對每個繞組上的一給定匝數，該等DC及AC電流步進以找到 I_{dc} 與 I_{ac} 之最佳值，且理解一開口鐵芯之磁化本質。所使用的參數是用於一典型的15kV類變電站FCL且包括：

- 鐵芯之數目：6
- 一鐵芯柱之長度：0.6m
- A_{core} ，每個鐵芯之截面積： $0.0225m^2$ ，尺寸是150 mm x 150 mm
- N_{ac} ：50
- N_{dc} ：500
- I_{dc} ：從零步進到500安培。(在DC線圈上達到250,000安培匝)
- N_{dc} ：從零步進到1000安培rms。(在AC線圈上達到50,000AC安培匝)

[0131]使用的物質參數是M6變壓器層疊之物質參數，

且是0.35mm厚。

[0132]第9圖顯示了沿著第7圖中所示的結構之Z方向之長度的磁場以及相對導磁率之分佈。適用於放置一AC線圈的鐵芯之區域、高導磁鐵芯之飽和區域被指出。例如，
5 該結果顯示，AC線圈應被設計使得其高度是400mm且位於該鐵芯上與該鐵芯之任一端不小於100mm。

[0133]第10圖顯示了沿著經過三個鐵芯之中心的一直線且在X方向的磁場之一圖式。此結果顯示所有鐵芯中的磁場足以使鐵芯支柱之一X-Y陣列內的所有六個鐵芯飽和，儘
10 管與DC線圈繞組之不一致的距離以及幾何關係。

[0134]第11圖顯示了第9圖中所示的鐵芯之中間區域內的鐵芯之DC磁化($I_{ac}=0$)。

[0135]第12圖顯示了以兩個不同DC偏壓電流值的該鐵芯之中間部分之次AC磁化漂移曲線。

15 [0136]從第11圖單獨考慮，可推斷80000DC安培匝之DC線圈能量(等效於500匝之DC線圈上的160安培之DC電流)足以使該鐵芯飽和。然而，AC線圈次磁化曲線(第12圖)與在AC線圈能量下的鐵芯之相對導磁率之考慮顯示該鐵芯需要至少140000DC線圈安培匝(即，在DC線圈上的至少
20 280安培DC)被需要用於該鐵芯以具有相對低的導磁率，因此對AC線圈施加低插入阻抗。

[0137]第12圖顯示了在AC線圈上達到1000安培之AC電流將利用與160A一樣低的DC操作電流將鐵芯解飽和(80,000安培匝)。這是不被期望的且此一設計將產生一高插

入阻抗、高THD及一失真電流波形。比較而言，以500A之操作點的次DC磁化迴路計算也被顯示，該操作點是一較被期望的操作點。在此等條件下，該鐵芯在AC線圈下超飽和且是一較適合的操作點。

- 5 [0138]一般而言，當考慮最佳變數之完整清單時，DC磁化與次DC磁化之組合計算不是用以找到適合的DC操作安培匝之直接方法且需要一長FEA最佳程序。為了簡化該程序，發明人提出一種鐵芯之靜磁化分析，其中在最大負載下，AC線圈被能量化至電流波形之峰值。第14圖顯示了一FEA計算，從該FEA計算清楚地是，在此情形中，該鐵芯需要150000安培匝之DC磁化以保持AC電流波形之每個瞬間點的飽和。
- 10

- [0139]一故障電流限制器具有一低插入阻抗實際上是重要的。在本實施例中，這藉確保在AC線圈之直接磁影響下的鋼鐵芯之體積完全被DC線圈飽和至一位準 B_{sat} 而達成，使得其在正常AC穩定狀態操作情形飽和。
- 15

 [0140]第7圖中所示的飽和鐵芯FCL設計針對一FCL滿足4個主要準則且具有以下優點：

- 由於不存在磁軛及外分肢之較低的質量。
 - 一給定故障電流及穩定額定狀態之較低佔用空間。
 - 結構之節省成本。
- 20

 [0141]藉顛倒AC與DC線圈之相對位置，以下技術利益也被獲得：

- 該結構直接適應高壓及超高壓設計，不需要特別介

電回饋或真空對介電介面。高導磁鐵芯之中間部分可以非常相同的方式浸入液體或氣介電液體中，使得一電源變壓器完全浸入介電液體中。

5 ● 與高壓變壓器設計(具有合成矽油或其他電介質)有關的技術之層面及知識體可應用此基本設計，包括氣態高壓電介質，例如SF₆。這減少了高壓版本的裝置之設計及發展程序中所包含的實質風險。

● 被用於浸入液體電介質且以高靜壓被使用的標準眾所周知的固體材料可被使用。

10 ● 該等AC相線圈包圍被超飽和的銅分肢之一區域。

● 該等AC線圈之電磁影響之程度是使得插入阻抗非常接近可能的理論最小值。例如，如第9及13圖中所描述的。在該等圖式中，FEA已揭露該等鐵芯之相對導磁率非常接近單位一，儘管與線路追蹤DC線圈之不一致的距離。

[0142]在另一實施例中，該等開口鐵芯以保持所有鐵芯飽和之方式向著末端逐漸縮小。

[0143]在第15圖中所示的進一步實施例中，每個相位之鐵芯柱與一磁軛連接，但是在一端開口。

20 [0144]第19圖顯示了具有一單相開口鐵芯之FCL，具有以下細節：

- 鐵芯尺寸：100 mm x 100 mm x 570 mm
- 每個AC線圈鐵芯上的匝數：20
- DC偏壓線圈上的匝數：100

[0145]來自第19圖中所示的實驗配置之結果在第20至26圖中給出。較特別地，第20圖顯示了開口鐵芯FCL末端之間的以50Hz之量測的穩定狀態無故障插入阻抗。當施加足夠的DC偏壓時，插入阻抗之特性具有明顯的變化。在第20圖之部分A中，在最小插入阻抗以下，高導磁鐵芯之磁飽和在AC線圈之磁影響下沒有到達該鐵芯之全部體積。因此，所量測的插入阻抗是高的。

[0146]在第20圖之部分B中，高導磁鐵芯之磁飽和已達到AC線圈之影響的範圍。這顯示了至少等於AC線圈之高度的高導磁鐵芯之一區域必須被DC線圈飽和以獲得開口鐵芯設計之最小插入阻抗。

[0147]第21圖顯示了針對一些不同電壓及電流位準之開口鐵芯FCL之無故障穩定狀態插入阻抗特性，且顯示了此數量獨立於AC電壓位準及電流位準。

[0148]第22圖中的暫態AC電流圖顯示了FCL被設於及未被設於測量電路中的故障電流。此資料顯示了故障電流之大的減少對於開口鐵芯FCL配置是可能的。

[0149]第23圖顯示了鋼鐵芯中量測的通量密度，在故障電流事件期間以時間為一函數。該故障電流有效地使AC線圈下的鋼鐵芯區域解飽和。這導致FCL在故障期間具有一高阻抗，因此具有有效、本征故障電流限制特性。

[0150]第24圖中所示的資料表示若高導磁鐵芯充分飽和使得引入DC線圈的暫態電壓可管理且在故障期間沒有不適當地有害。這類似於一般飽和FCL鐵芯設計。

[0151]第25圖顯示了量測的暫態故障電流波形，在允許AC線圈電阻及FCL AC線圈阻抗之穩定狀態無故障感應元件之後具有計算出的預期故障電流。故障電流從2000安培之峰值減少到1100安培之峰值之額外減少是由於在允許AC線圈電阻及穩定狀態無故障插入阻抗之後的磁化之額外變化。

[0152]第26圖顯示了在故障事件期間以一些不同DC偏壓電流值所量測的DC暫態電流。若鋼鐵芯被充分偏壓，則感應的暫態DC電流不大。

[0153]第27圖顯示了開口鐵芯FCL之一可選擇的實驗配置，其在該等鐵芯之間包括磁軛且被設計用以減少低插入阻抗所需的DC偏壓安培匝。設計之細節如下：

- 高導磁鐵芯尺寸：100 mm x 100 mm x 570 mm(高)
- 磁軛尺寸：100 mm x 100 mm x 250 mm(高)
- 每個AC線圈鐵芯上的匝數：20
- DC偏壓線圈上的匝數：100

[0154] 磁軛連接及無磁軛組態所獲得的插入阻抗結果之間的比較在第28圖中給出，其中磁軛連接及無磁軛的一開口鐵芯FCL之量測的50Hz無故障穩定狀態插入阻抗特性被顯示。

[0155]第29圖顯示了DC偏壓線圈內的鐵芯配置之磁軛將磁化曲線偏移至左邊，從而允許較少的安培匝被用以獲得最小插入阻抗。

[0156]第30圖顯示了磁軛連接的組態之插入阻抗之全

部範圍，其顯示了以較低DC施加安培匝的此配置之故障阻抗之大的改良。

[0157]第31圖中的磁軛連接的開口鐵芯FCL實驗配置之故障電流圖顯示了與無FCL的一系統比較的磁軛連接的FCL之存在對各DC偏壓模式的區別。

[0158]AC線圈頂部量測的高導磁鐵芯材料中的磁通量密度也在第32圖中量測，表示了與無磁軛開口鐵芯實驗配置之相同的特性行為。

[0159]第33圖顯示了一系列不同偏壓位準之DC電路暫態電流波形。如同無磁軛開口鐵芯FCL配置，感應的暫態DC電流對於被充分偏壓的鐵芯不大。

[0160]如該等實施例中所描述的配置DC與AC線圈之主要利益是AC線圈經歷DC線圈下的鋼鐵芯之全部DC通量密度。經典飽和FCL設計受到通過上下磁軛將通量從DC分枝傳到AC分枝之缺點，且繞著該鐵芯內的斜接連接器。該等實施例分配磁軛及AC側分枝，從而使得從DC傳到AC線圈的通量100%有效。

[0161]將瞭解的是，在所描述的實施例中，每個故障電流限制器包括以一高壓襯套之形式的至少一輸入端子以電氣連接於一提供一負載電流的電源(例如，一變壓器)。該等實施例中的每個也包括至少一輸出端子(也以一或多個高壓襯套之形式)以電氣連接一汲取負載電流的負載電路(例如，一電子分配系統)。也包括一磁飽和鐵芯及至少一AC線圈-一般一線圈針對負載電流之每個相位-繞在鐵芯之一

縱向長度周圍以傳遞輸入端子或多個輸入端子與輸出端子或多個輸出端子之間的負載電流。一DC線圈在鐵芯之至少一部分中感應一磁場且沿著接受該鐵芯及AC線圈的一縱向中間區域延伸。在所描述的實施例中，中間區域由個別槽界定。由DC線圈感應的磁場將該鐵芯磁性偏移，使得AC線圈從一低阻抗狀態轉移在一高阻抗狀態，回應負載電流之一或多個特性。

[0162]將瞭解的是，在許多應用中，特別是在一FCL需被回復安裝到一現存設備之情況下，可用於容納FCL之實際空間一般被限制。甚至較一般地，最大的物理限制是可用於FCL的佔用空間。現在給出第35及36圖之參考，已描述了針對小佔用空間應用之單相開口鐵芯FCL被發展。該FCL包括以一高壓襯套之形式的一輸入端子以電氣連接於一提供一負載電流之電源(圖未示)。以又一高壓襯套之形式的一輸出端子與汲取負載電流的一負載電路(圖未示)電氣連接。一磁飽和鐵芯具有兩個類似的高導磁疊層鋼柱之形式，該等支柱縱向延伸且彼此端到端堆疊。一AC線圈具有兩個線圈線段，該兩線段部分相對地繞在該等柱之個別縱向長度部分以傳遞輸入端子與輸出端子之間的負載電流。以兩個隔開的次線圈之形式的DC線圈在該等支柱之至少一部分中感應一磁場且沿著接受鐵芯及AC線圈的一縱向中間區域延伸。在此實施例中，該區域由槽界定。該磁場使該等支柱磁性偏移，使得AC線圈從一低阻抗狀態轉移在一高阻抗狀態，回應負載電流之一或多個特性。

[0163]又一小佔用空間實施例在第37及38圖中被描述。在此實施例中，使用一壓縮電源鐵芯。這在AC線圈之截面區域內提供比利用層疊能夠達成的填充因數更高的一填充因數之高導磁材料。因此，對於相同的佔用空間且假
5 設其他都相同，則該實施例之FCL提供對第35及36圖之效能改良的效能。

[0164]在又一實施例，第37及38圖之FCL被發展以提供與第35及36圖之FCL相同的效能。由於較高的填充因數，此又一實施例具有比第37及38圖之FCL更小的佔用空間。

10 [0165]FCL之另一實施例在第39及40圖被描述。該實施例是一三相開口鐵芯FCL，具有三對平行且縱向的共延鐵芯柱-一對鐵芯柱用於每個相位-用於整體定義該鐵芯。該等鐵芯柱具有不對稱的一常數及均一橫截面。該等鐵芯柱對包括磁軛，且該等鐵芯柱、該等相關的AC線圈以及磁軛都
15 設於包含一介電媒介(也作為一冷卻媒介)的槽內。

[0166]第41及42圖描述了與第39及40圖類似的又一實施例，主要區別在於省略磁軛以進一步減少FCL佔用的體積空間。

[0167]將瞭解的是，第39至42圖中所描述的該等故障電
20 流限制器包括具有不對稱支柱之類似的支柱，該等支柱相對於彼此排列以一般界定一套筒。該等支柱之此形狀及相對配置或相對方向也貢獻於FCL之一小的佔用空間。

[0168]在其他實施例中，不同的方法被用以最佳化FCL之佔用空間，或者解決一給定站台之任何協調規格。例如，

給出第43圖之參考，第43圖描述了一包括一鐵芯之FCL，該鐵芯具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形橫截面支柱。相同相位之AC線圈的兩個線圈部分彼此上下排列。例如，在一站台之佔用空間被限制之情形中，開口鐵芯FCL之此組態被使用，且一較高的高度被允許。

[0169]又一實施例在第44圖中被描述，其中一FCL包括具有以並排3x2陣列排列的矩形橫截面支柱之一鐵芯。例如，在高度要求被限制之情形中，開口鐵芯FCL之此組態被使用，但是一較高的佔用空間被允許。

[0170]一FCL之又一例子在第45圖中被描述，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面支柱之一鐵芯，且該等支柱被套在一起。

[0171]與已知的圖框型“閉合鐵芯”飽和鐵芯故障電流限制器比較，以上所描述的實施例具有以下優點：

- 所需的鋼之品質之大的減少，因此減少製造、運輸以及網站位置之成本。
- 對於類似的效能，佔用空間減少。在人口稠密的都市區域，這特別有利於容易設置。
- 在一超導體被用於DC偏壓線圈或多個DC偏壓線圈之情形中，一較低的低溫維持器表面面積。這產生較少穩定狀態周邊熱損失，以及一較低冷卻器電源要求。
- DC偏壓線圈及低溫維持器與AC相線圈及鋼鐵芯之機械去耦接。這允許油槽降低到DC線圈熱孔區域，

或者該等DC線圈可降低到包含該等相線圈及鐵芯的油槽上。

[0172]相較於可選擇的故障電流限制器配置，例如電阻型、具有外部或內部電抗器之電阻型、屏蔽鐵芯、固態的，

5 該飽和開口鐵芯故障電流限制器具有以下優點：

- 該開口鐵芯故障電流限制器不會傷害一保護導線且若超導體部分之任何層面失敗，並不需要與一保護導線隔離，無論其是DC線圈、真空系統或低溫系統。因此，該等實施例之開口鐵芯故障電流限制器
10 固有地是安全的且在此等情形中能夠被置於保護導線中。而且，與內部故障之警告或檢測相關的冗餘度能夠比必須切換服務以供一內部故障之設計更不嚴格。
- 沒有任何DC偏壓線圈(無論其是一超導體線圈或其他的)直接連接於柵格或電供應器之被保護的高壓
15 或高電流導線。因此，簡單的、已建立且眾所周知的介電設計程序能夠被用以設計高壓部分。
- 液體冷卻器未被用作一AC電介質，因此與該等液體相關的問題不存在較佳實施例之設計中。
- 超導元件沒有受到故障電流。因此，在一故障期間，
20 幾乎沒有DC線圈之電流及電壓感應。
- 在一故障期間，超導體沒有熄滅，因此能夠被用於導線內，其中自動重新關閉或正重新關閉邏輯被用在一保護導線之斷路器及隔離器上。

[0173]本說明書中關於“一實施例”之參考表示結合該實施例描述的一特定特徵、結構或特性被包括在本發明之至少一實施例中。因此，在本說明書中各處出現的詞語“在一實施例中”並不需要都指相同的實施例，而是可指相同的實施例。此外，特定特徵、結構或特性可以任何適合的方式合併，如該項領域內具有通常知識者在一或多個實施例中從該揭露顯而易見的。

[0174]類似地，應瞭解的是，在本發明之示範性實施例的以上描述中，本發明之各種特徵有時聚集在一個單一實施例、圖式或其描述中以簡化該揭露且幫助理解各個發明層面中的一者或多者。然而，本揭露之方法並不被解讀為反映所主張的發明需要比每個申請專利範圍中明確闡述的特徵更多的特徵之意圖。而是，如同以下申請專利範圍所反映的，發明層面在於少於一個單一以上揭露的實施例之所有特徵。因此，以下申請專利範圍在此明確地併入本發明之描述，其中每個申請專利範圍主張其本身為本發明之一個別實施例。

[0175]本發明之進一步的實施例在序號為2009901138的澳大利亞申請案(於2009年3月16日提出申請)中被揭露，且其優先權被主張。該等實施例之細節以交互參照明確地被併入。

[0176]此外，雖然此處所描述的一些實施例包括一些特徵，且沒有包括在其他實施例中的其他特徵，但是如該項領域內具有通常知識者所理解的，不同實施例之特徵的組

合-包括主張其優先權利益的專利說明書中所揭露的該等
實施例-意指在本發明之範圍內且形成不同的實施例。例
如，在以下申請專利範圍中，所主張的實施例中的任何可
以任何組合被使用。

5 [0177]在此處提供的描述中，許多特定細節被闡述。然
而，需明白的是，本發明之實施例可沒有該等特定細節被
實踐。在其他情形中，眾所周知的方法、結構及技術已被
詳細顯示以不模糊本描述之理解。

10 [0178]該項領域內具有通常知識者將認識到的是，其等
是應用於被製造的特定設計之例子且具有不同結構細節的
其他設計之詳細結果將是不同的。結果之主要推斷及圖案
被考慮。

15 [0179]雖然本發明已參考特定例子被描述，但是如該項
領域內具有通常知識者所瞭解的，本發明可以許多其他形
式實施。

【圖式簡單說明】

第1圖是一實驗FCL鐵芯結構之一示意圖；

第2圖描述了第1圖之結構上的一FEA分析之結果；

20 第3圖描述了具有重疊且同軸的AC線圈及DC線圈之一
FCL之一閉合鐵芯結構-即，該兩線圈繞在閉合鐵芯之相同
的分肢上；

第4圖描述了一實驗閉合鐵芯結構，具有用以允許研究
插入阻抗之本質的相關探測線圈；

第5圖描述了利用第4圖之結構進行的實驗之結果；

第6圖總結了以上實驗結構之量測的插入阻抗結果；

第7圖是依據本發明的一三相位開口鐵芯故障電流限制器之一示意橫截面圖；

第8圖是第7圖之電流限制器中所示的兩個鐵芯柱上的
5 繞組之電氣互連之一示意圖；

第9圖顯示了沿著第7圖之Z方向的一鐵芯之長度的磁場及相對導磁率之FEA分析結果；

第10圖顯示了沿著該等鐵芯之中的一直線且經過第7圖之X方向內的三個鐵芯柱的磁場之一圖式；

10 第11圖顯示了具有DC電流能量化的第7圖之一個單一鐵芯柱之中心的磁場之一圖式；

第12圖顯示了在兩個飽和操作點周圍具有DC次漂移的第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式；

第13圖顯示了相對於DC線圈能量的第7圖之一鐵芯柱
15 中間的相對導磁率之圖式且在50匝AC線圈中具有1000安培的電流；

第14圖顯示了第7圖之鐵芯的DC磁化之圖式，以DC安培匝為一函數，且在AC線圈上具有全AC電流使得每個AC線圈產生的通量是相反的；

20 第15圖顯示了本發明之一可選擇的形式，顯示了相同的繞組互連且兩個鐵芯之間的底磁軛被保持；

第16圖顯示了一三相開口鐵芯FCL設計之一配置，具有三列及兩行鋼鐵芯且依據第8圖中詳細討論的在每個相位上具有電氣互連；

第17圖顯示了三相開口鐵芯FCL設計之一可選擇的配置，依據第8圖中詳細闡述的，具有兩列及三行鋼鐵芯，且在每個相位上具有電氣互連；

5 第18圖顯示了三相開口鐵芯FCL之一磁軛連接選擇且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

第19圖顯示了被用於通量密度及AC穩定狀態無故障插入阻抗測量及故障電流限制特性之實驗配置且依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

10 第20圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之量測的無故障插入阻抗特性；

第21圖顯示了以不同AC電壓及電流的無故障穩定狀態插入阻抗特性；

第22圖顯示了一開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

15 第23圖顯示了開口鐵芯實驗配置之通量密度暫態特性圖；

第24圖顯示了當鐵芯飽和至超過AC線圈之影響區域的一範圍時的DC電路暫態電壓圖，且故障之存在被檢測為從 $t=0.08$ 秒開始的箭頭之間的電壓之輕微降低；

20 第25圖顯示了電路有以及無開口鐵芯FCL的實驗配置之暫態故障電流圖；

第26圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之DC電路暫態電流特性；

第27圖顯示了通量密度、AC無故障插入阻抗以及磁軛

連接的FCL之故障電流限制能力的AC線圈與DC線圈之實驗配置，依據第8圖中詳細闡述的在每個相位上具有電氣互連；

5 第28圖顯示了開口鐵芯磁軛FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗，與在具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第29圖顯示了磁軛連接與無磁軛的開口鐵芯配置之間量測的無故障插入阻抗比較，且與各種閉合鐵芯配置比較；

10 第30圖顯示了開口鐵芯磁軛連接的FCL實驗配置之量測的無故障穩定狀態插入阻抗且與具有相同尺寸之分肢的無磁軛開口鐵芯FCL上所量測的比較；

第31圖顯示了一磁軛連接的開口鐵芯FCL之故障電流特性圖，以DC偏壓為一函數；

15 第32圖顯示了開口鐵芯FCL實驗配置之通量密度圖，自繞在一鋼分肢周圍且位於一磁軛連接的開口鐵芯FCL之AC線圈頂部的一探測線圈獲得；

第33圖顯示了磁軛連接的開口鐵芯FCL實驗配置之DC電路暫態電流特性；

第34圖是一電子分配系統中的一FCL之一示意表示；

20 第35圖是一個單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中該鐵芯包括端對端連接的兩個鋼鐵芯柱；

第36圖是第35圖之FCL之一頂視圖；

第37圖是一單相開口鐵芯FCL之一示意透視圖，其中該鐵芯包括壓縮粉末之一個單一鐵芯柱；

第38圖是第37圖之FCL的一俯視圖；

第39圖是一FCL之又一實施例的一示意透視圖，具有一般為圓形的佔用空間且在該鐵芯之該等鐵芯柱之間包括磁軛；以及

5 第40圖是第39圖之FCL的一示意俯視圖；

第41圖是一FCL之一示意透視圖，類似於第39圖無該等磁軛的圖式；

第42圖是第41圖之FCL的一俯視圖；

10 第43圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；

第44圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一並排3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯；以及

15 第45圖是一FCL之一示意透視圖，包括具有以一堆疊3x2陣列排列的矩形截面鐵芯柱之一鐵芯，該等鐵芯柱以磁軛連接。

【主要元件符號說明】

- | | |
|----------|---------|
| 1 鐵芯柱 | 5 AC 線圈 |
| 2 DC 線圈 | 6 絕緣形成器 |
| 3 容器 | 7 絕緣遮罩 |
| 4 介電絕緣媒介 | |

發明專利說明書

98.9.21

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98111200

※申請日：98.4.3

※IPC 分類：H02H 9/02 (2006.01)

H01F 6/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

故障電流限制器

A FAULT CURRENT LIMITER

二、中文發明摘要：

一種故障電流限制器包括用於整體界定該FCL之一鐵芯的一連串高導磁柱。用於使該等高導磁柱之一部分飽和的一DC線圈包圍以一容器之形式的一外殼外部的完整結構。該容器包含一介電絕緣媒介。用於傳遞AC電流的AC線圈繞在絕緣形成器上且以一方式彼此電氣互連，使得由對應高導磁鐵芯中的每個AC線圈產生的磁場之感測是相反的。相位之間具有絕緣遮罩以改良介電媒介之介電抵抗特性。

三、英文發明摘要：

A fault current limiter (FCL) includes a series of high permeability posts for collectively define a core for the FCL. A DC coil, for the purposes of saturating a portion of the high permeability posts, surrounds the complete structure outside of an enclosure in the form of a vessel. The vessel contains a dielectric insulation medium. AC coils, for transporting AC current, are wound on insulating formers and electrically interconnected to each other in a manner such that the senses of the magnetic field produced by each AC coil in the corresponding high permeability core are opposing. There are insulation barriers between phases to improve dielectric withstand properties of the dielectric medium.

七、申請專利範圍：

1. 一種用於併入一電子電路的故障電流限制器，該故障電
流限制器包括一磁性飽和鐵芯以及至少一繞在該飽和
鐵芯之一部分周圍的AC相線圈，其中該磁性飽和鐵芯以
及該至少一AC相線圈容納在一外殼內且一DC偏壓線圈
5 設於該外殼外部且包圍該外殼，在該電流限制器之無故
障操作情形期間，該電流限制器將該鐵芯偏壓到磁性飽
和以獲得低插入阻抗，但是在故障情形期間使該鐵芯去
磁性飽和，從而在該電子電路中提供一增加的電流限制
10 阻抗。
2. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其只包
括一DC偏壓線圈。
3. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其包括
兩個或多個DC偏壓線圈。
- 15 4. 如申請專利範圍第3項所述之故障電流限制器，其中該
等DC偏壓線圈被隔開。
5. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其中該
DC偏壓線圈是一高溫超導體。
6. 如申請專利範圍第5項所述之故障電流限制器，其中該
20 DC偏壓線圈與該至少一AC相線圈重合且同軸，使得該
飽和鐵芯之該部分完全飽和。
7. 如申請專利範圍第6項所述之故障電流限制器，其中該
磁性飽和鐵芯以鐵芯柱之一陣列的形式，其中多個AC
相線圈彼此繞在該等鐵芯柱之個別鐵芯柱上且以一方

式電氣互連，使得由該等AC線圈產生的該等磁場之感測是相反的。

8. 如申請專利範圍第7項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱之截面是矩形的。

5 9. 如申請專利範圍第7項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱在一端由一磁軛連接且在另一端開口。

10. 如申請專利範圍第7項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱沿著其長度是常數橫截面。

11. 如申請專利範圍第7項所述之故障電流限制器，其中該等鐵芯柱向著其末端逐漸變細，從而在該限制器之無故障操作期間，該鐵芯之實質上所有飽和。

12. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其中該限制器具有一開口鐵芯組態。

13. 如申請專利範圍第12項所述之故障電流限制器，其中至少等於該AC線圈之高度的該鐵芯之一區域實質上被該DC線圈完全飽和以在無故障操作條件期間獲得最小插入阻抗。

14. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其中該磁性飽和鐵芯自一變壓器鋼層疊材料、軟鋼或其他磁性鋼、鐵酸鹽材料、一絕緣高導磁壓縮粉末或一鐵磁材料建構。

15. 如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其中該磁性飽和鐵芯及該等AC相線圈浸入一電介質中。

16. 如申請專利範圍第15項所述之故障電流限制器，其中該

電介質以一液體一或氣體之形式。

17.如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其中該
DC偏壓線圈以一線路追蹤DC線圈之形式。

18.如申請專利範圍第1項所述之故障電流限制器，其中除
5 了該電介質之外，該外殼包括一冷卻裝置。

19.一種故障電流限制器，包括：

一輸入端子，用於電氣連接於一提供一負載電流之
電源；

一輸出端子，用於與一負載電路電氣連接，且該負
10 載電路汲取該負載電流；

一磁性飽和鐵芯；

一AC線圈，繞在該鐵芯之一縱向部分周圍以傳遞該
輸入端子與該輸出端子之間的該負載電流；以及

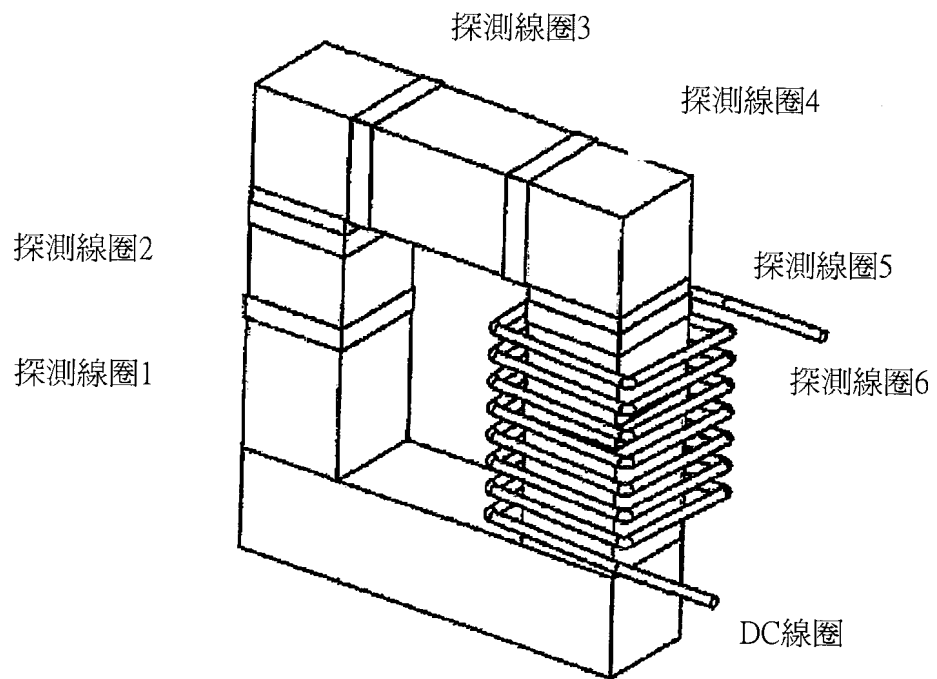
一DC線圈，用於至少在該鐵芯之部分內感應一磁場
15 且沿著接受該鐵芯及該AC線圈的一縱向中間區域延
伸，其中該磁場將該鐵芯磁性地偏移，使得該AC線圈從
一低阻抗狀態轉移到一高阻抗狀態，回應該負載電流之
一或多個特性。

20.如申請專利範圍第19項所述之故障電流限制器，包括兩
20 個或多個DC線圈。

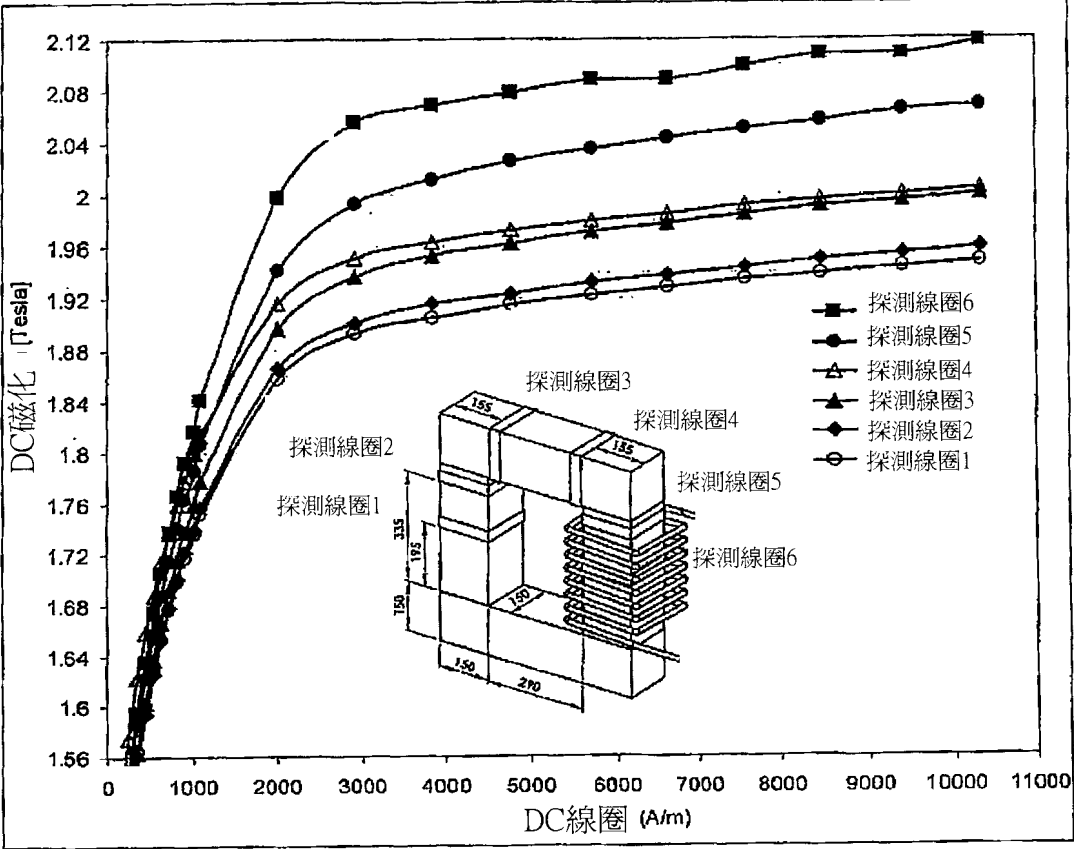
21.如申請專利範圍第20項所述之故障電流限制器，其中該
等DC線圈被隔開。

22.如申請專利範圍第19項所述之故障電流限制器，在該低
阻抗狀態中，該部分被磁性飽和。

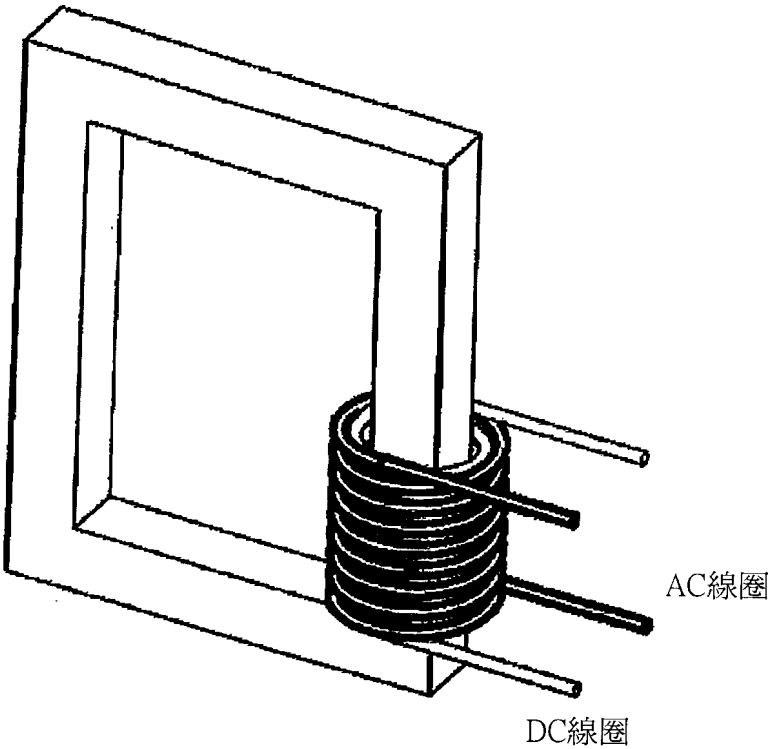
- 23.如申請專利範圍第22項所述之故障電流限制器，在該低阻抗狀態中，該鐵芯在該部分之外縱向地磁性飽和。
- 24.如申請專利範圍第19項所述之故障電流限制器，其中在該高阻抗狀態中，該部分去磁性飽和。
- 5 25.如申請專利範圍第19項所述之故障電流限制器，其中在該低阻抗狀態中，該AC線圈之阻抗實質上等於該AC線圈之理論空氣鐵芯阻抗。



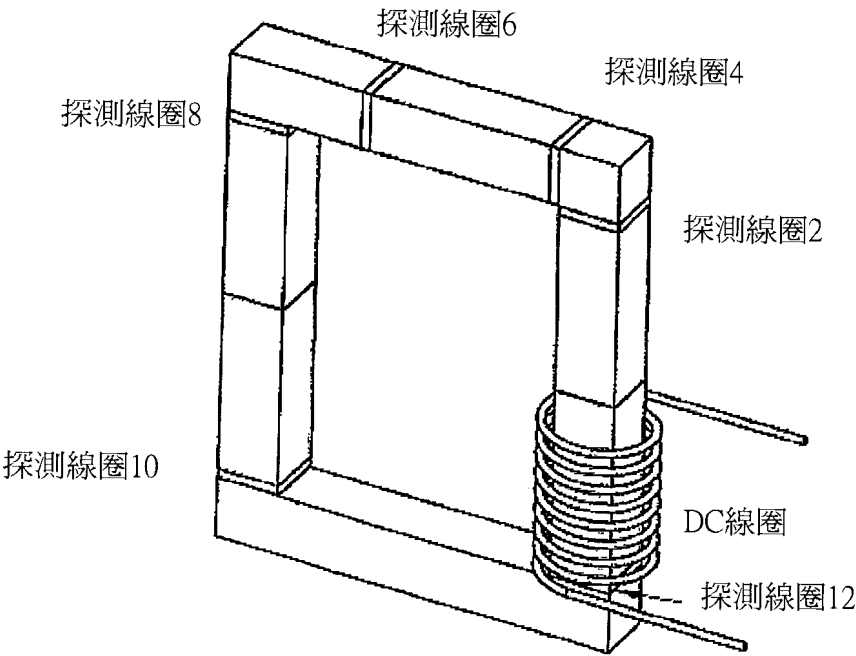
第1圖



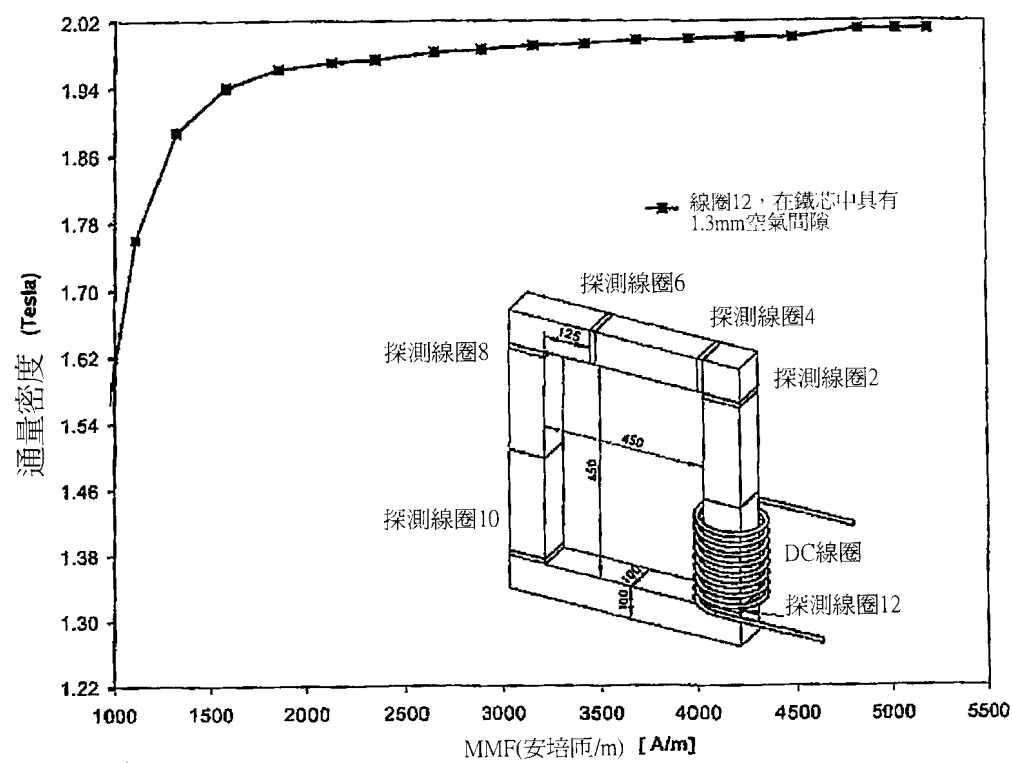
第2圖



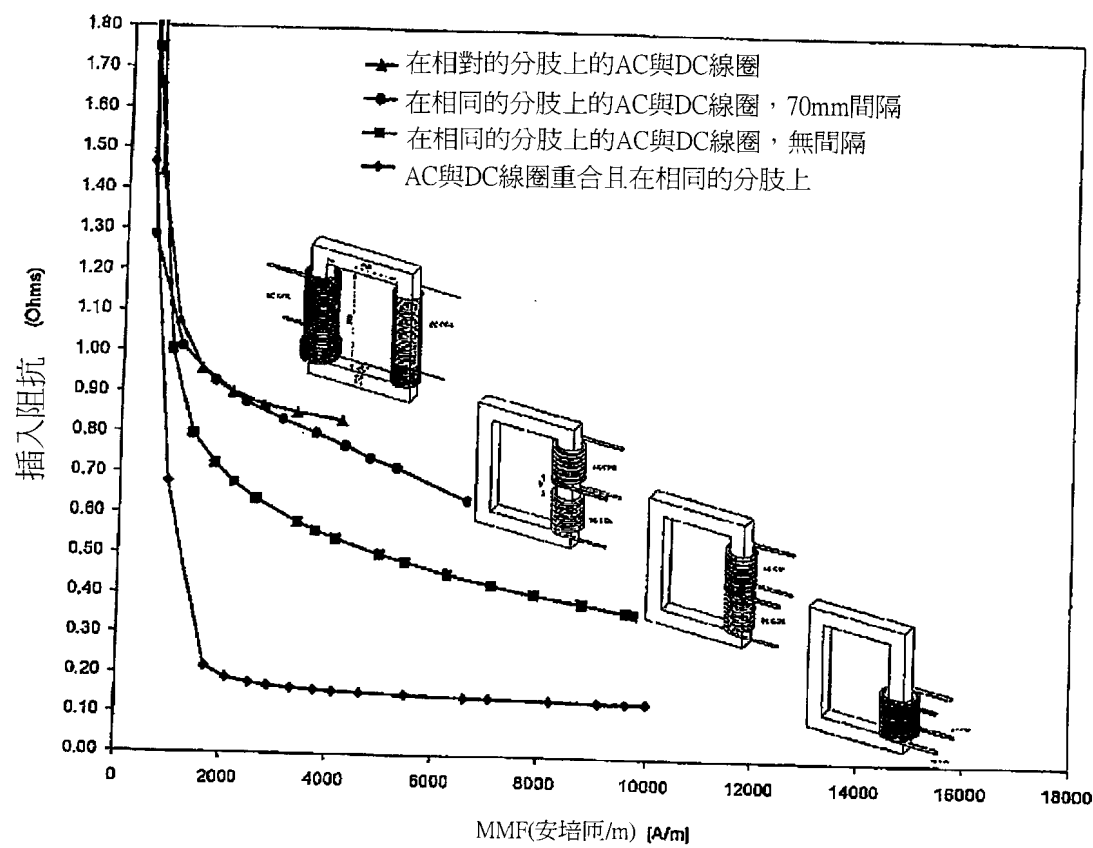
第3圖



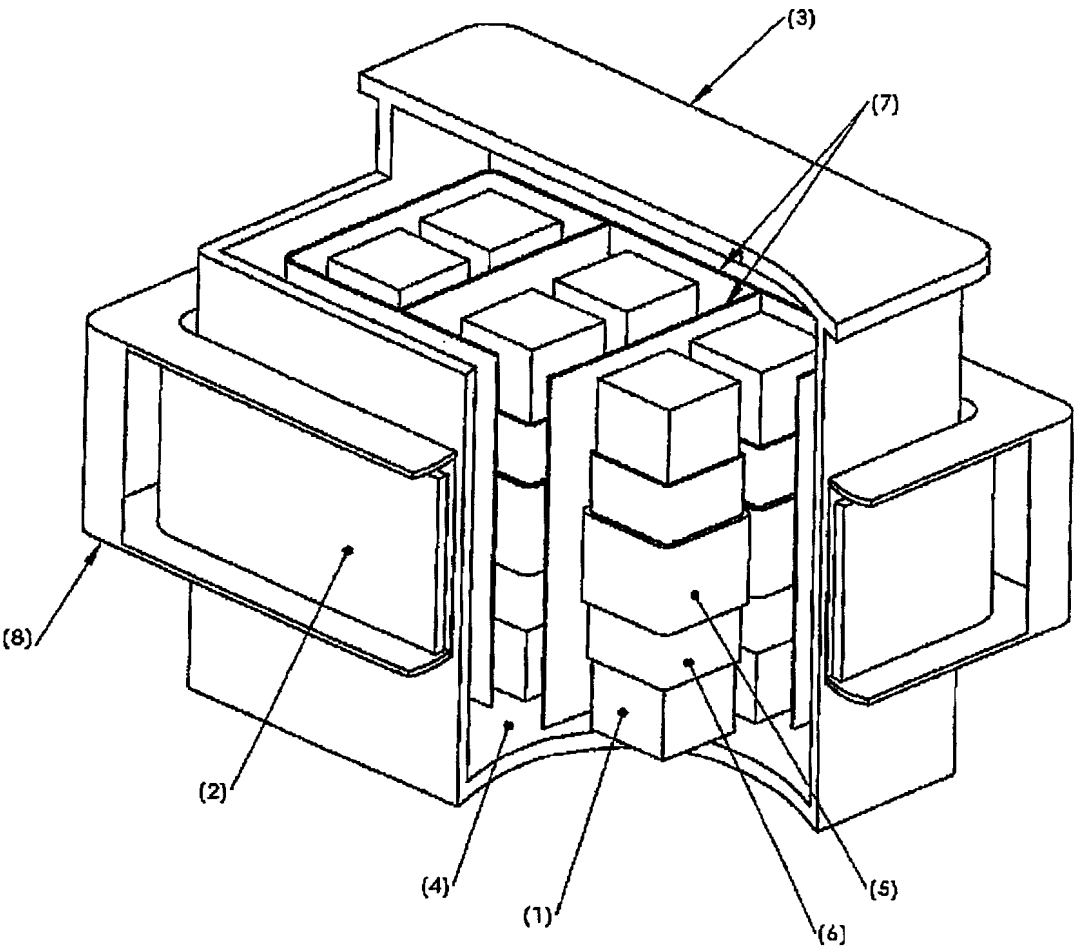
第4圖



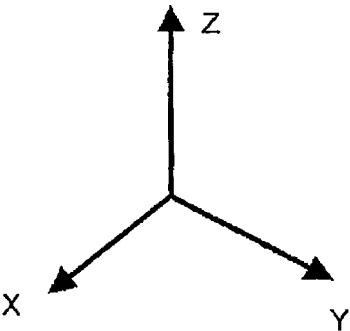
第5圖

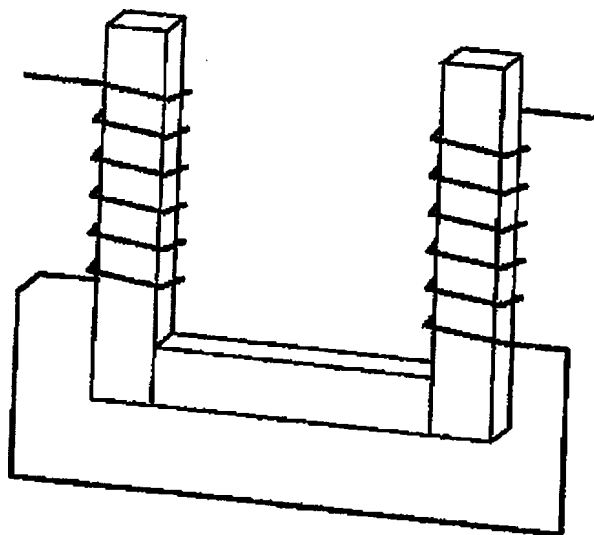


第6圖

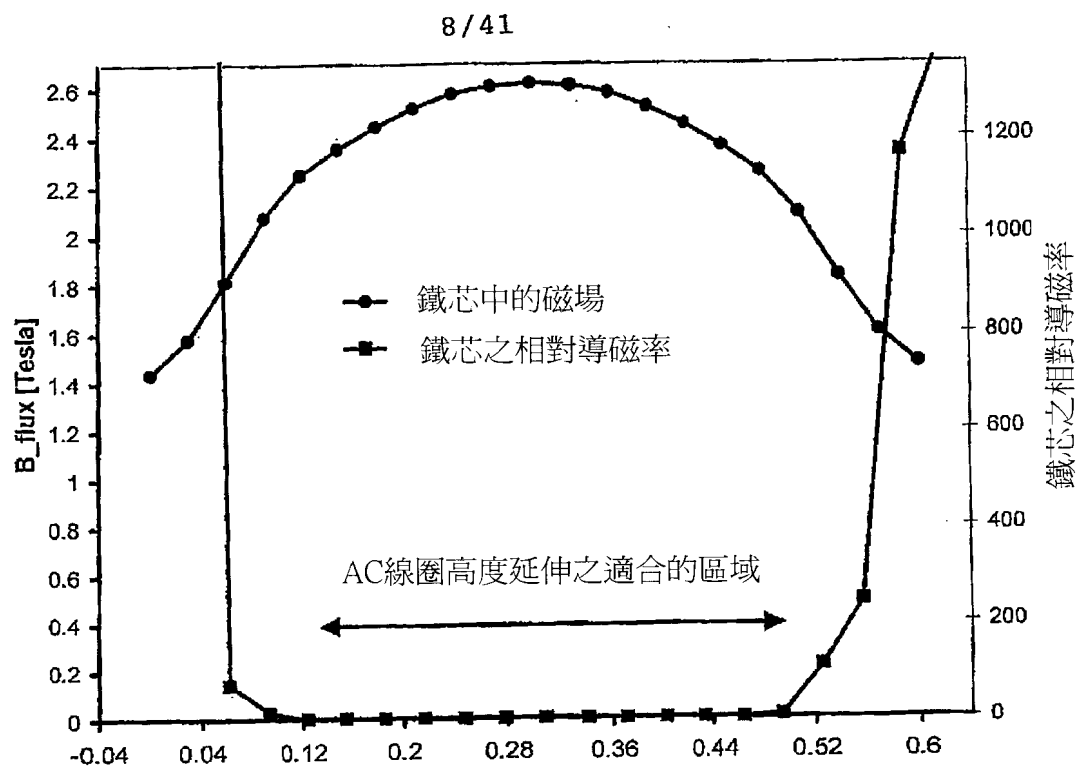


第7圖



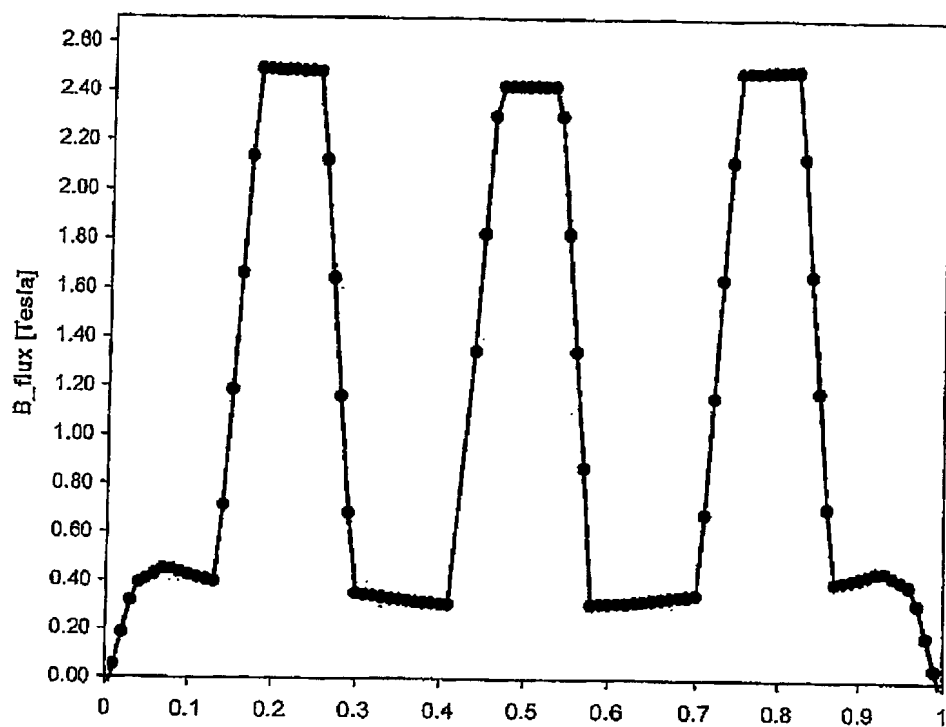


第8圖



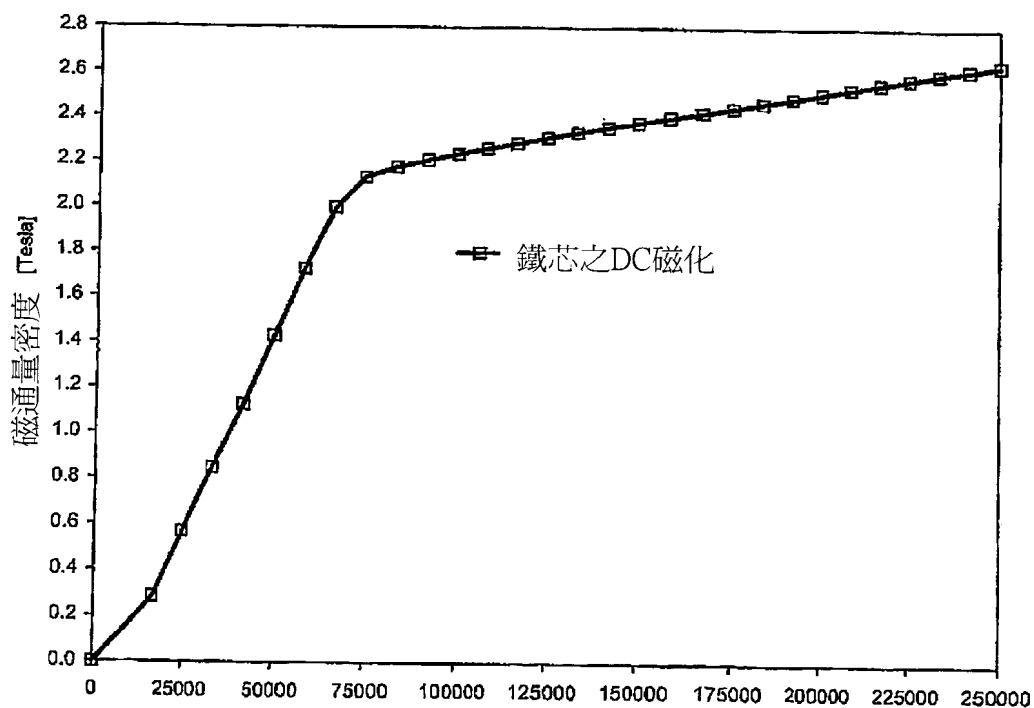
第9圖

沿著一個單一鐵芯的距離



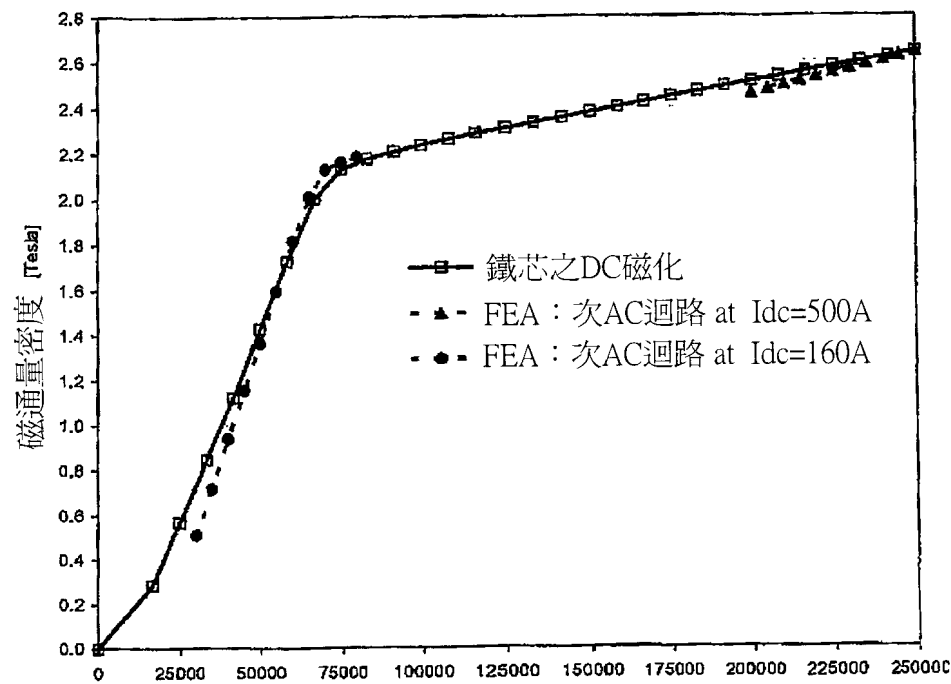
第10圖

延著一個單一鐵芯之距離

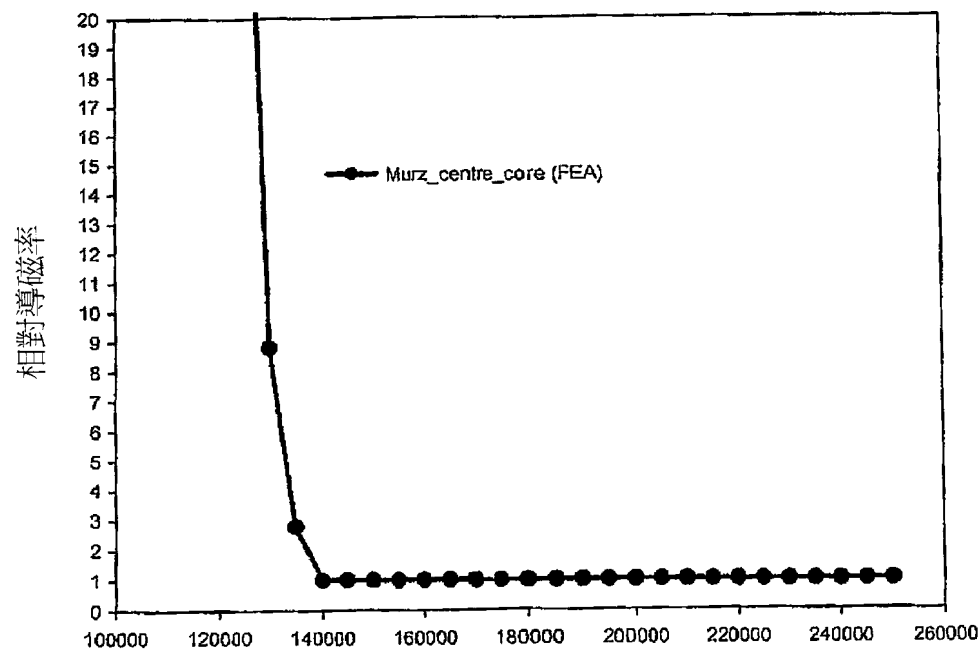


第11圖

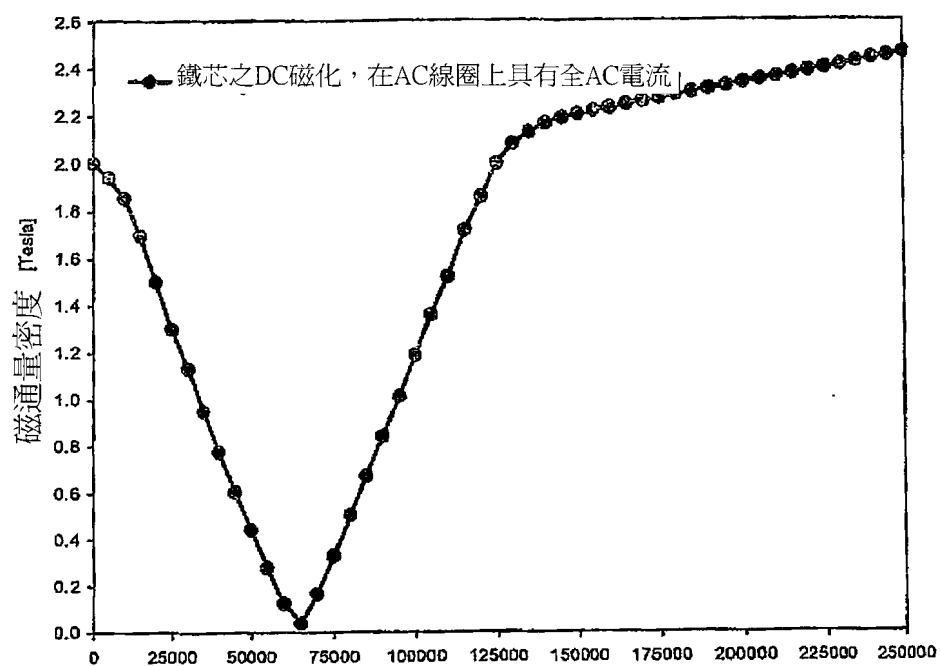
DC線圈上的安培匝



第12圖 DC線圈上的安培匝

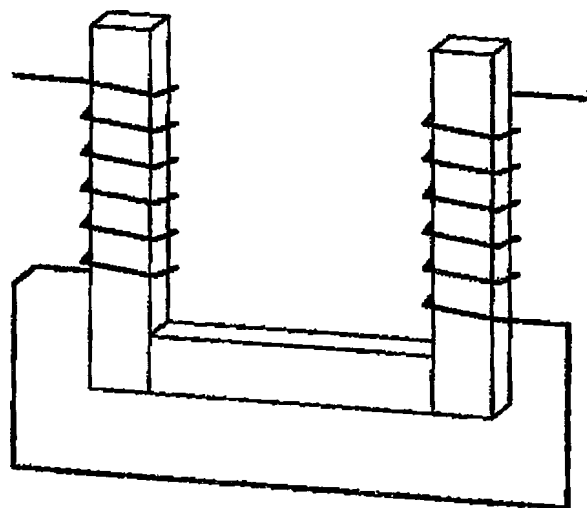


第13圖 DC線圈安培匝

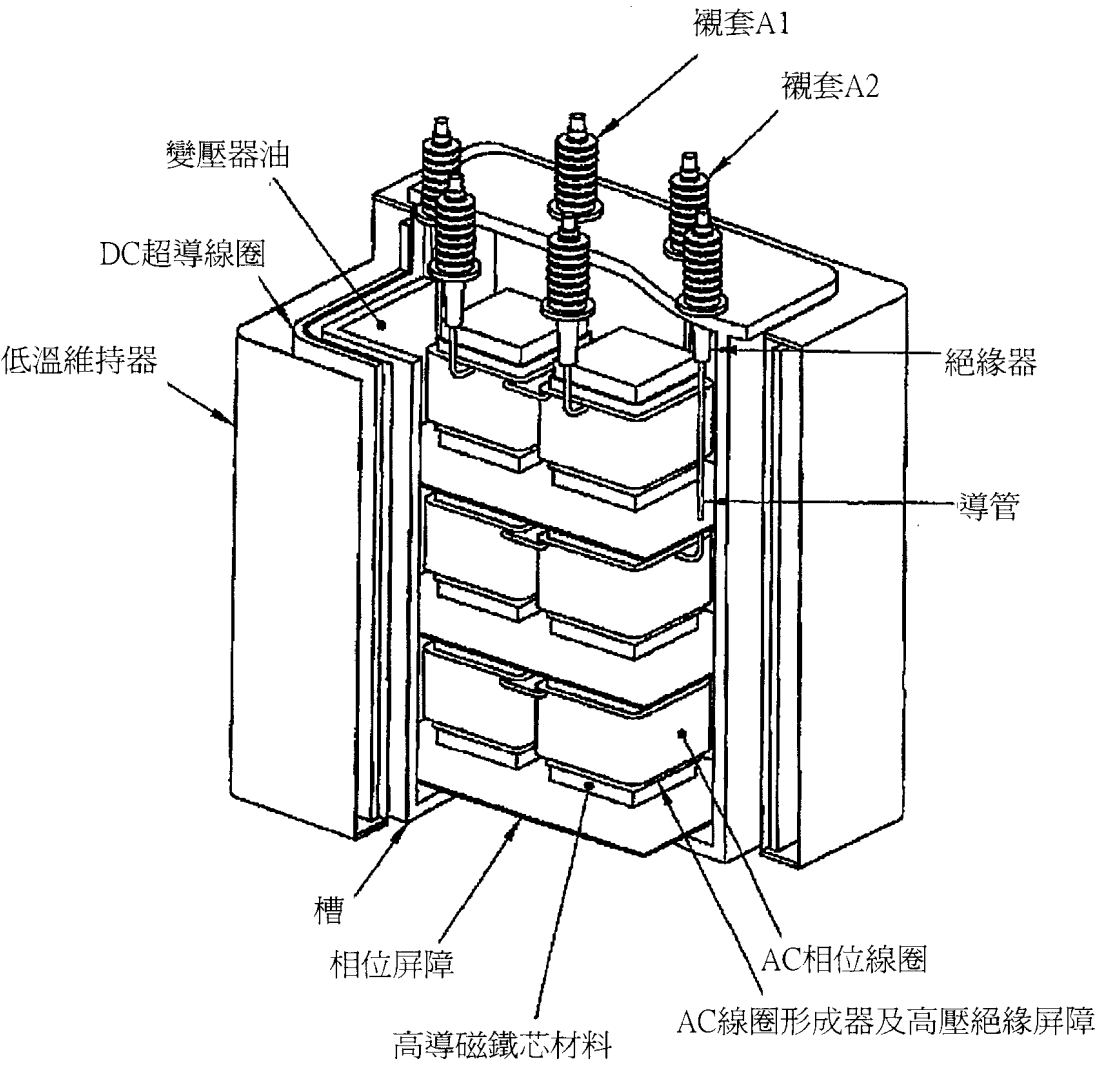


第14圖

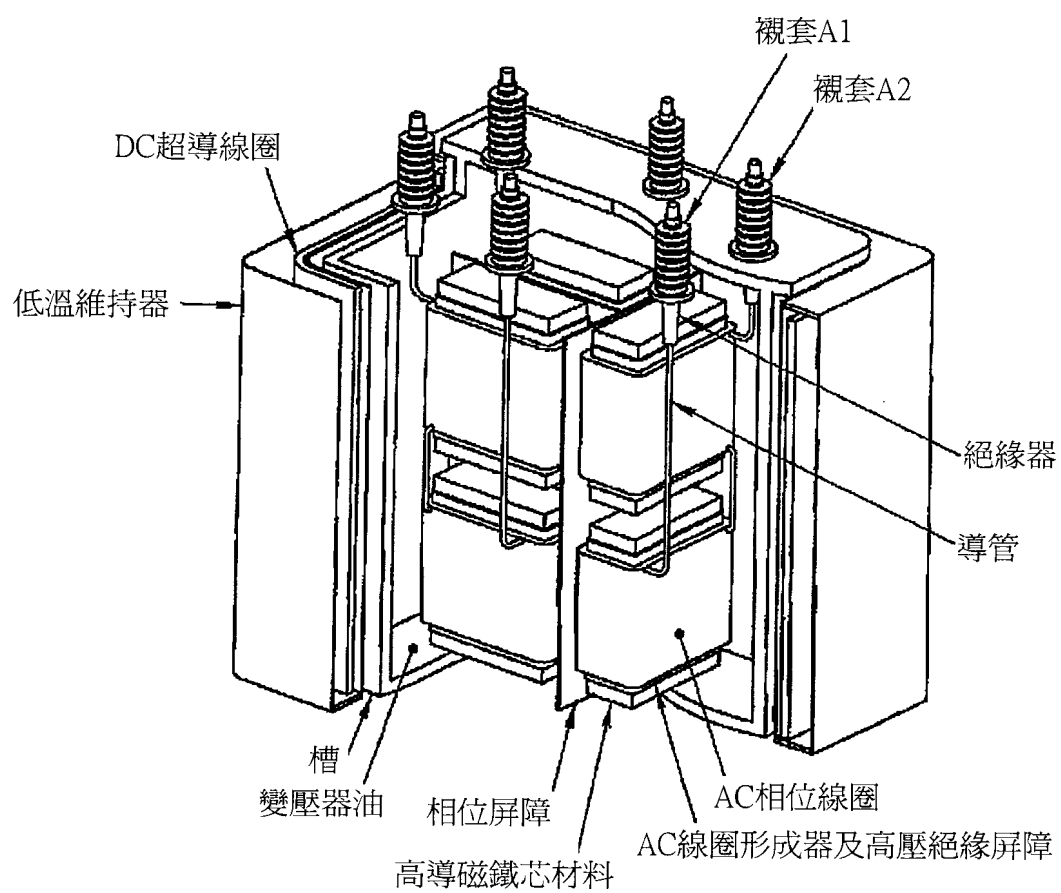
DC線圈上的安培匝



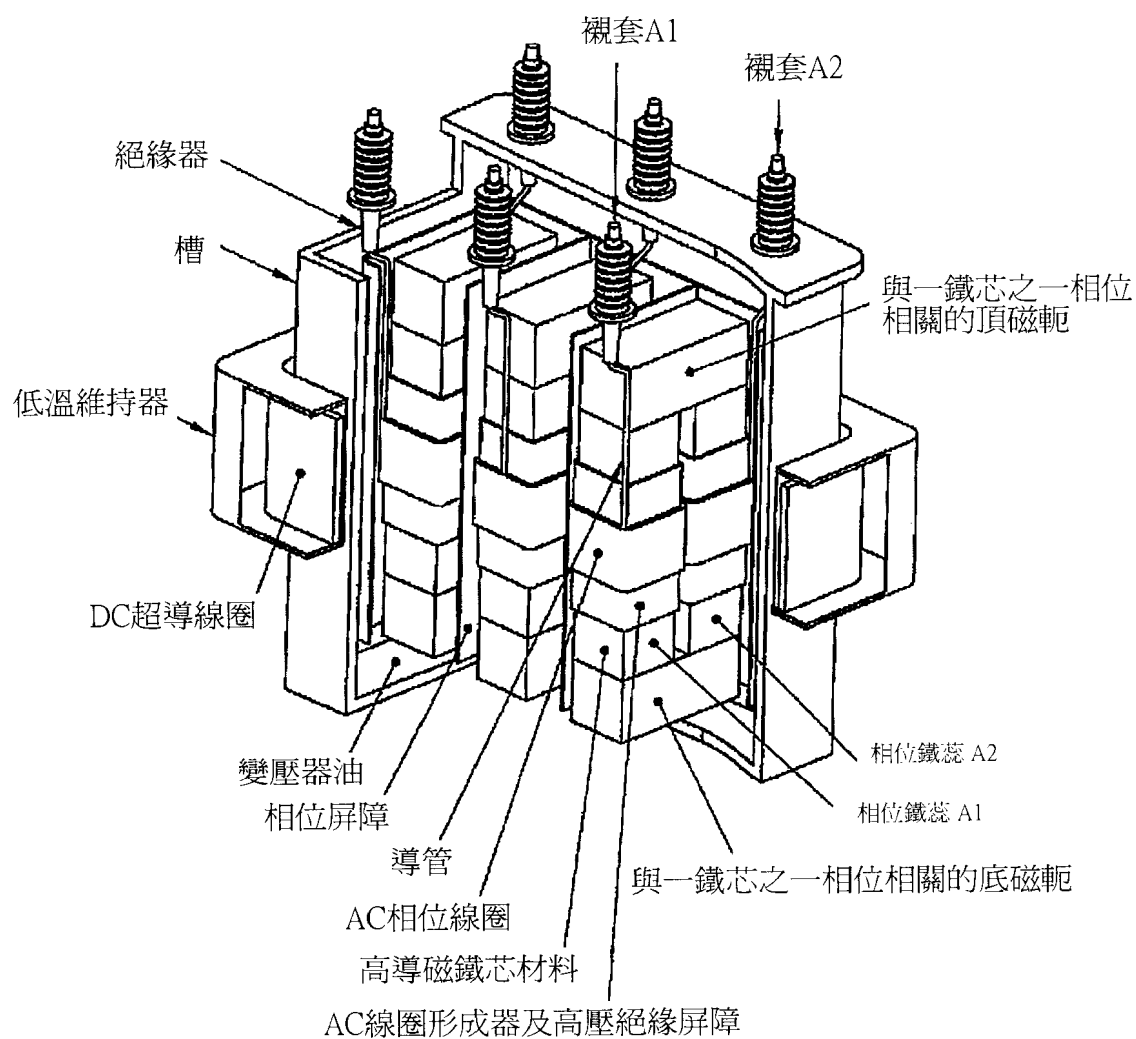
第15圖



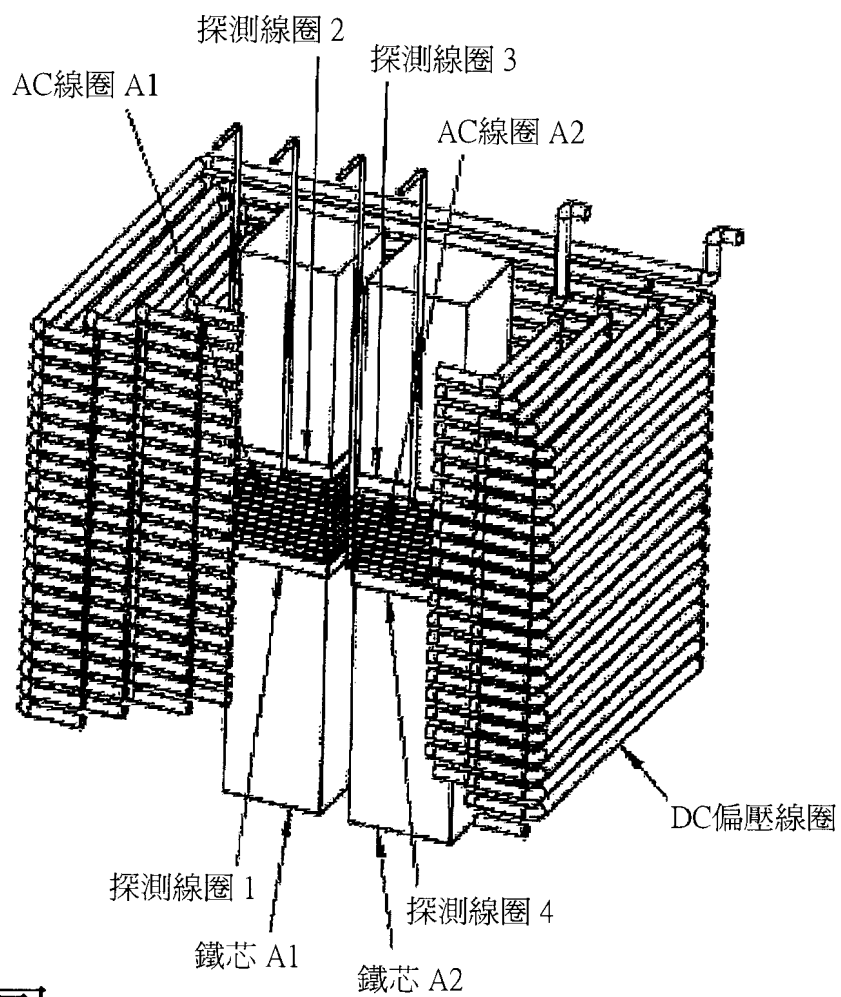
第16圖



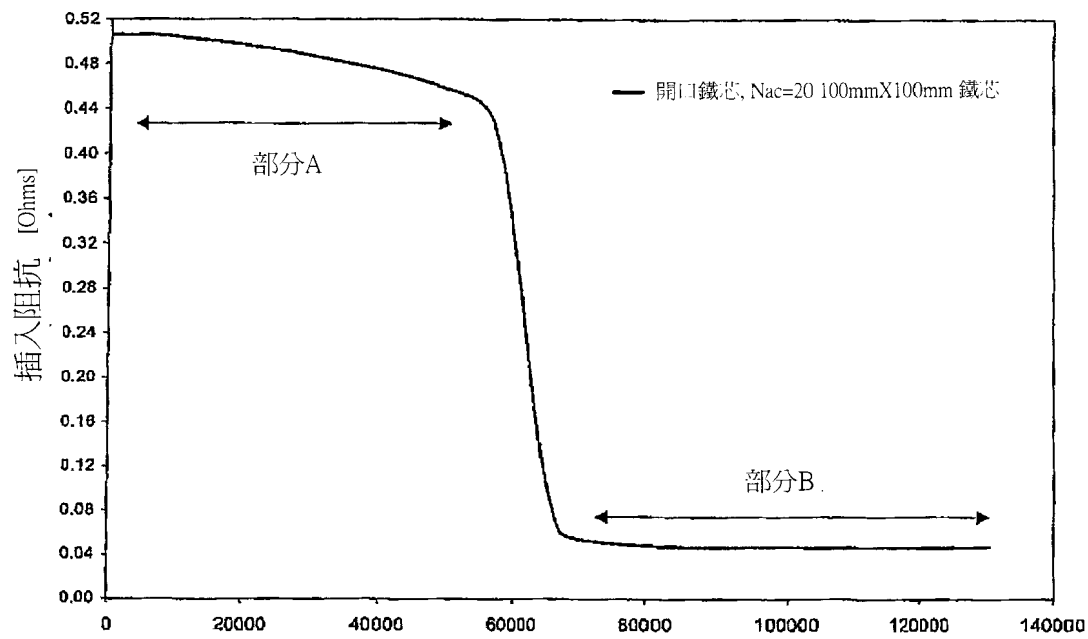
第17圖



第18圖

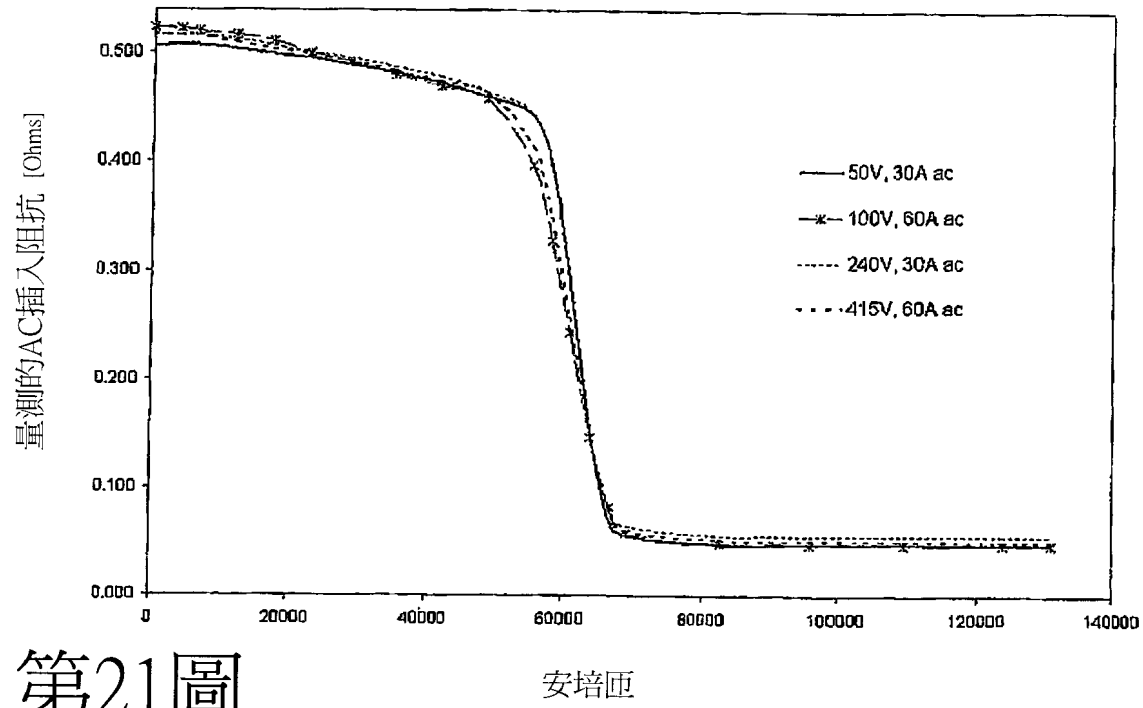


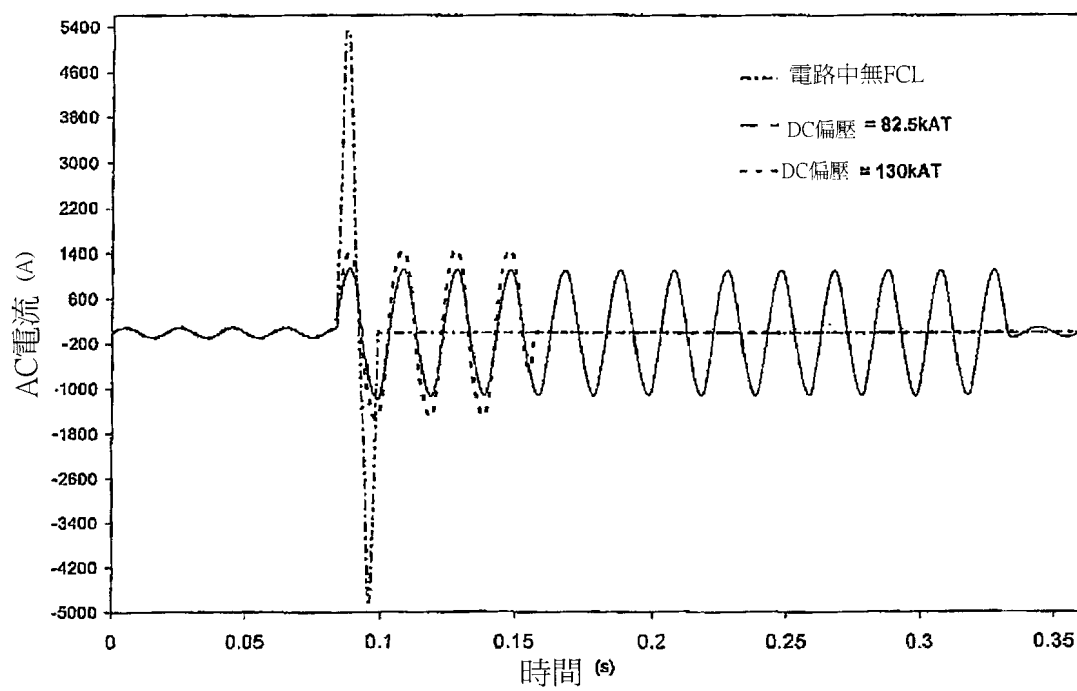
第19圖



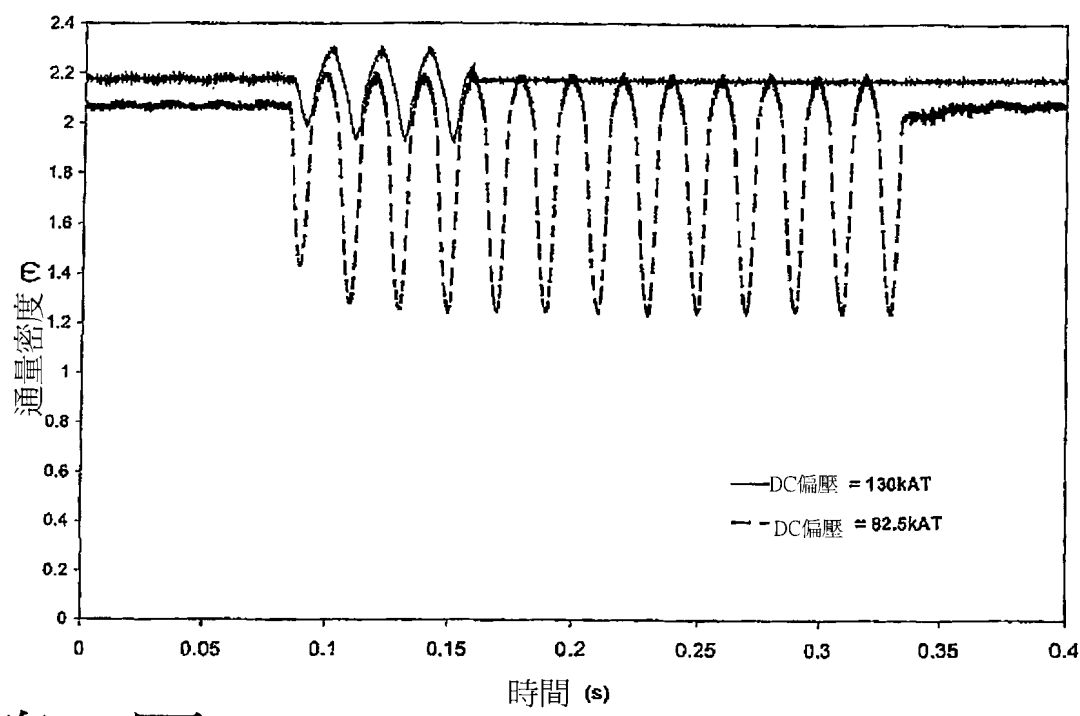
第20圖

安培匝

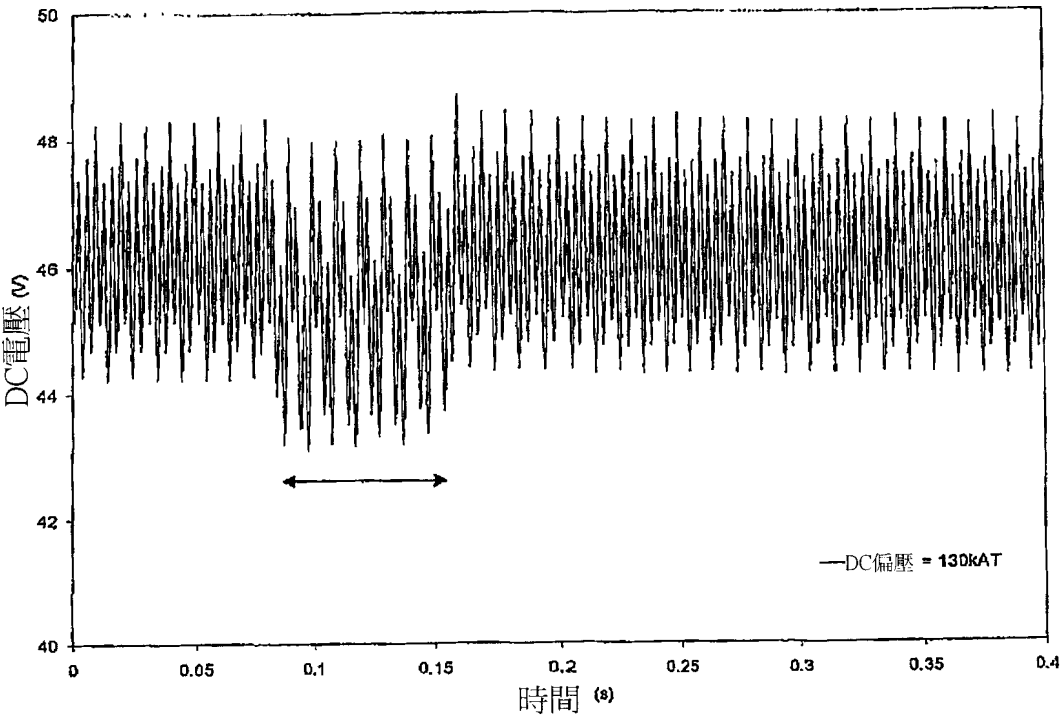




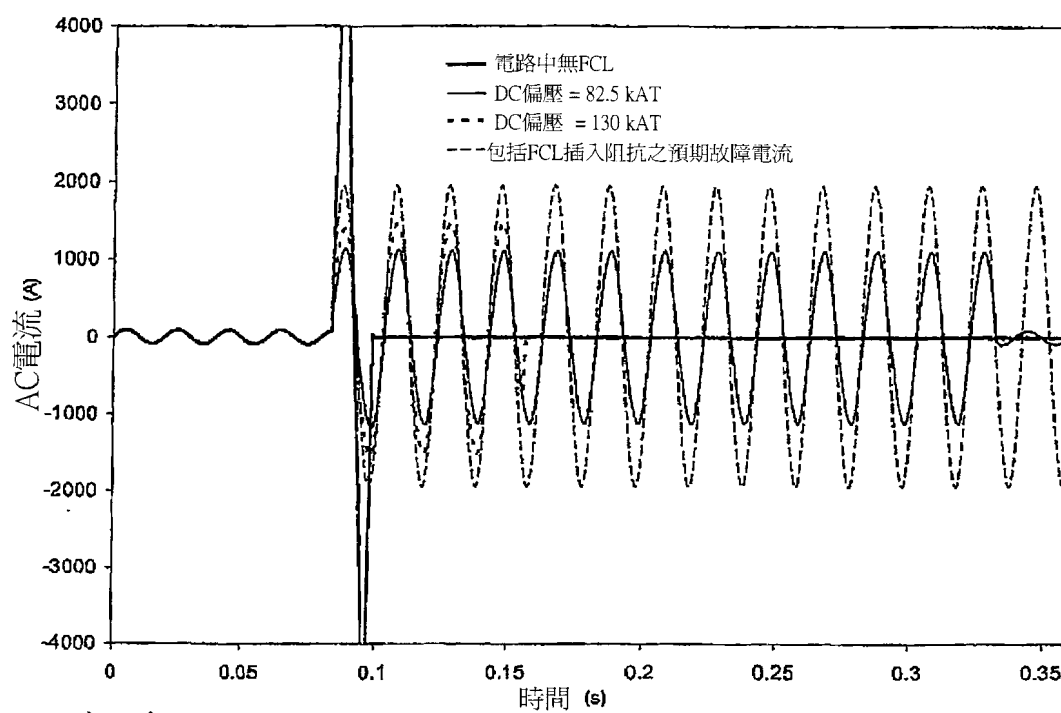
第22圖



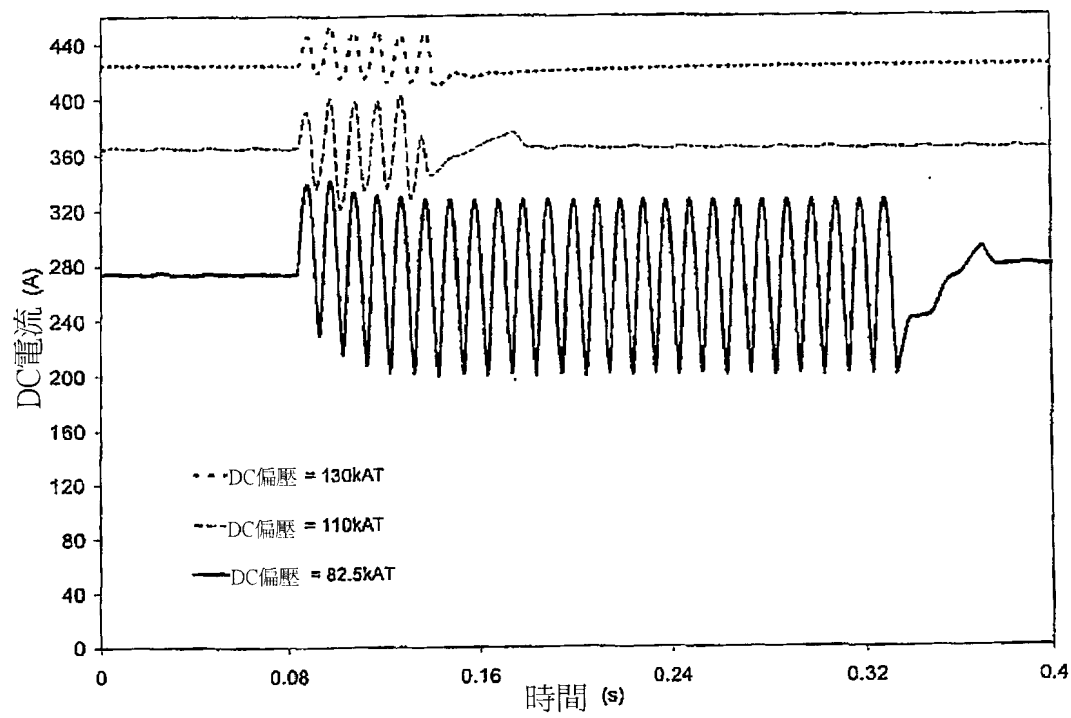
第23圖



第24圖

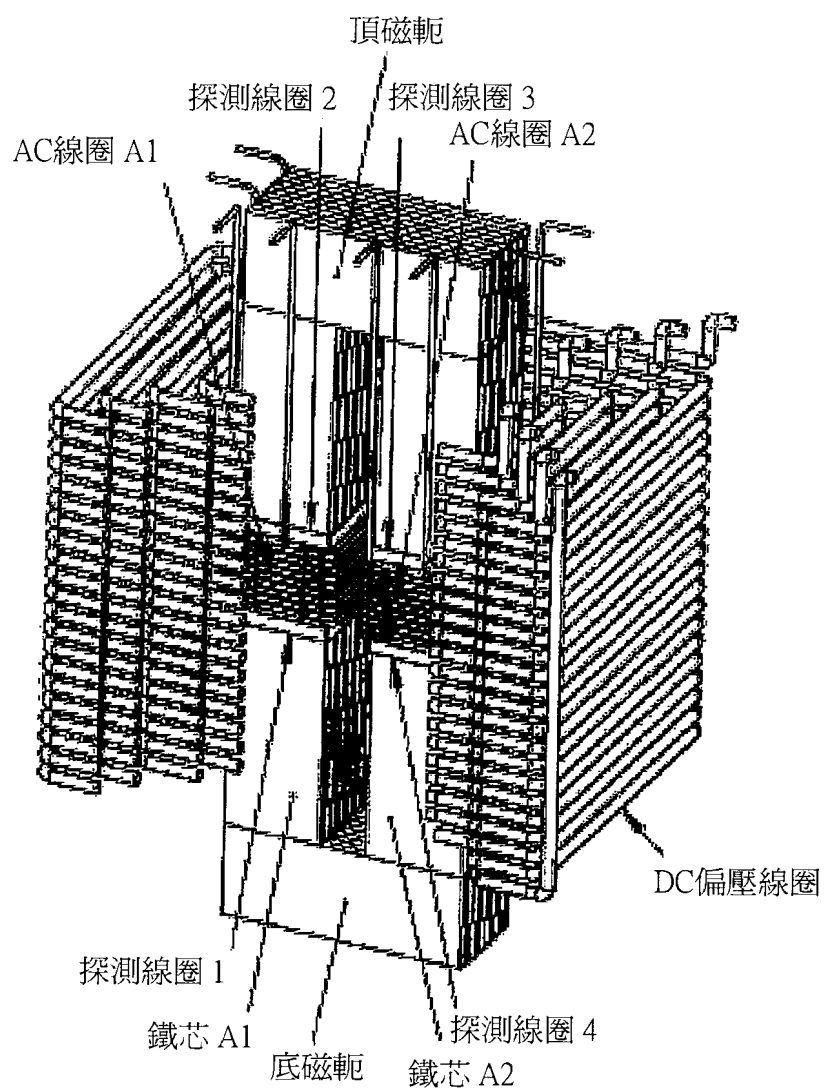


第25圖

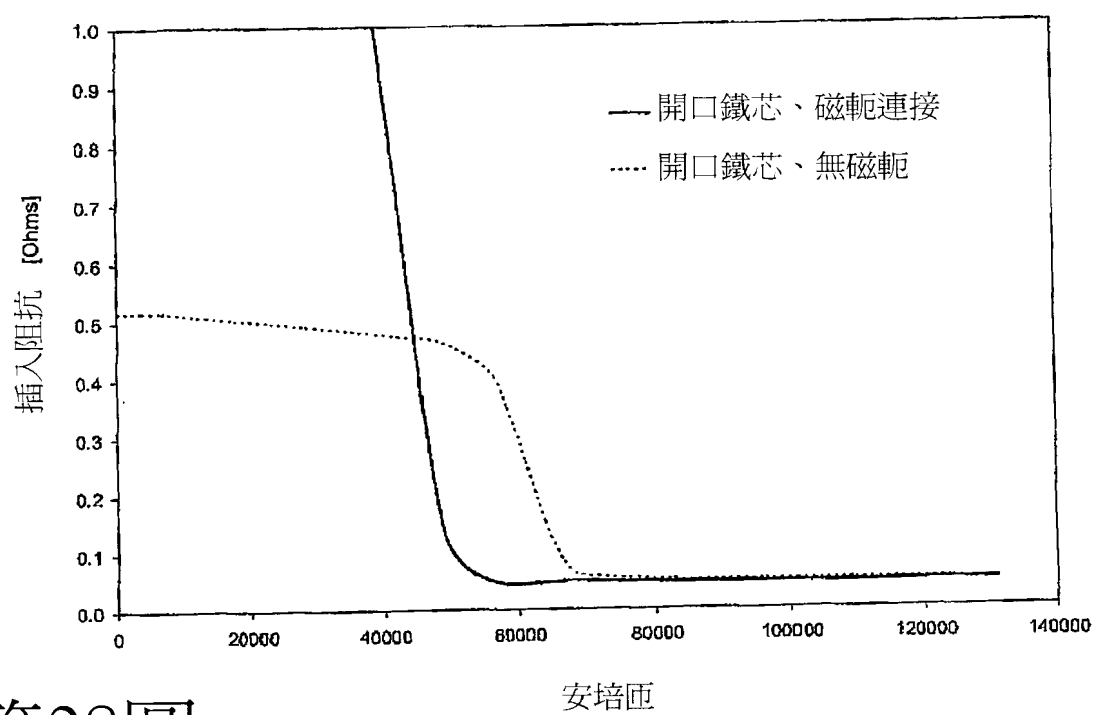


第26圖

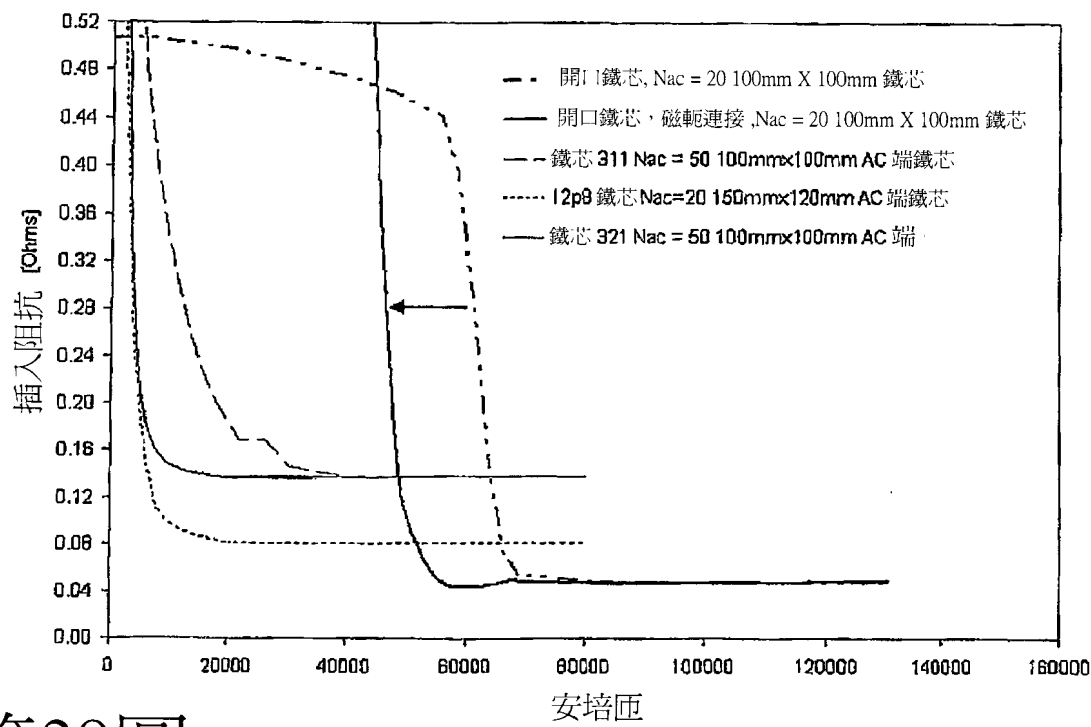
23/41



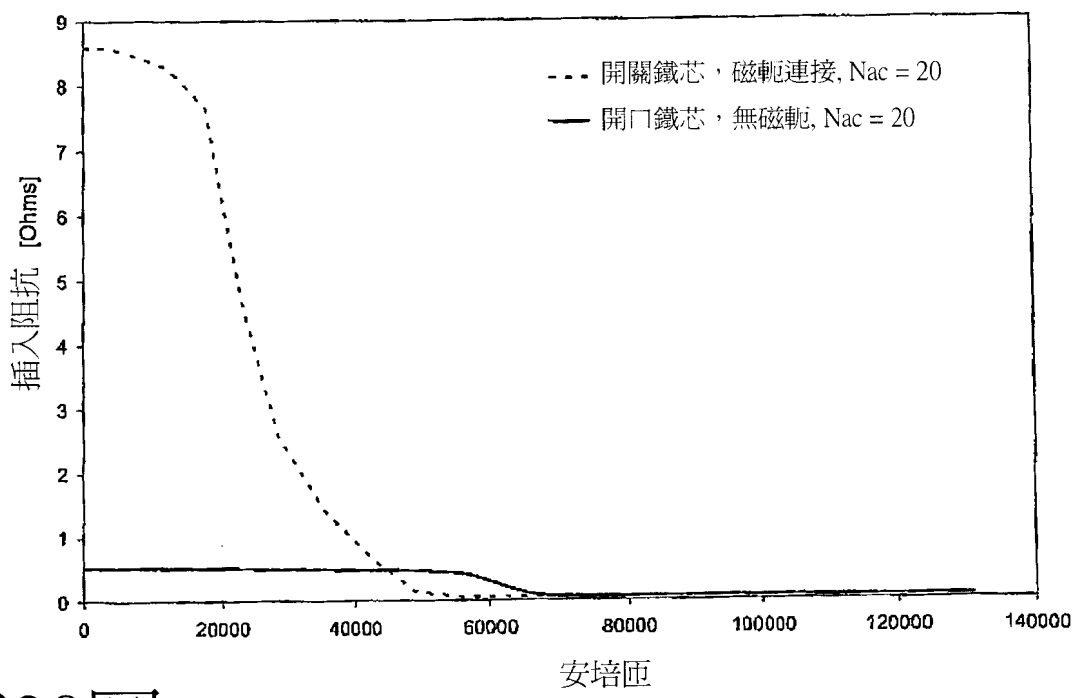
第27圖



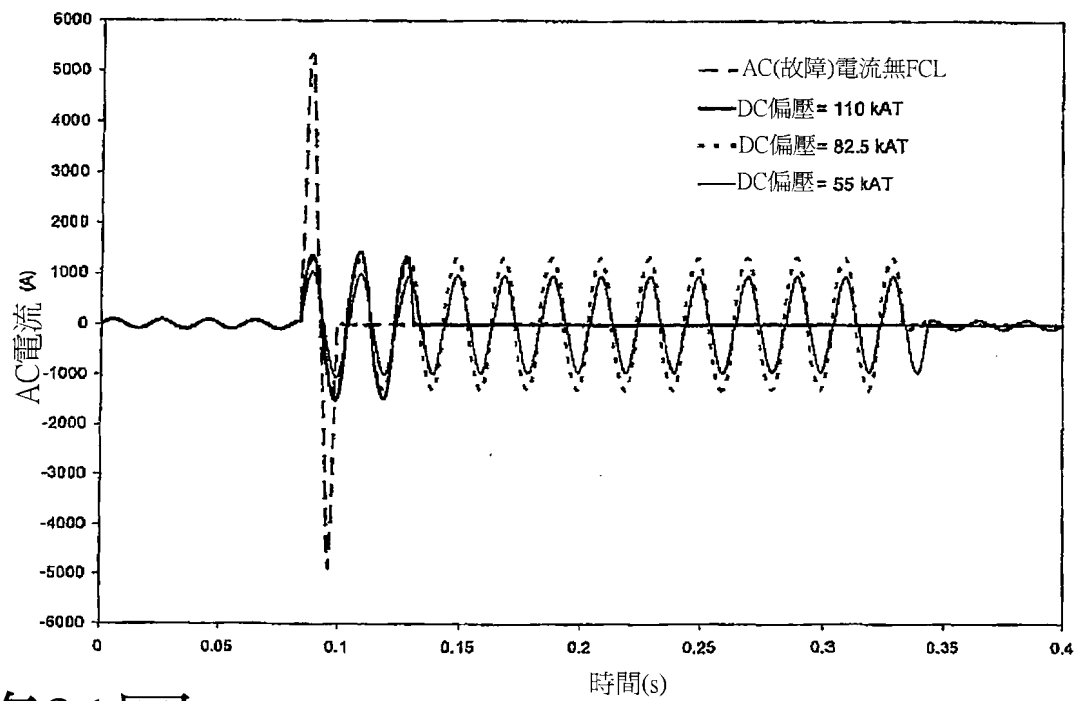
第28圖



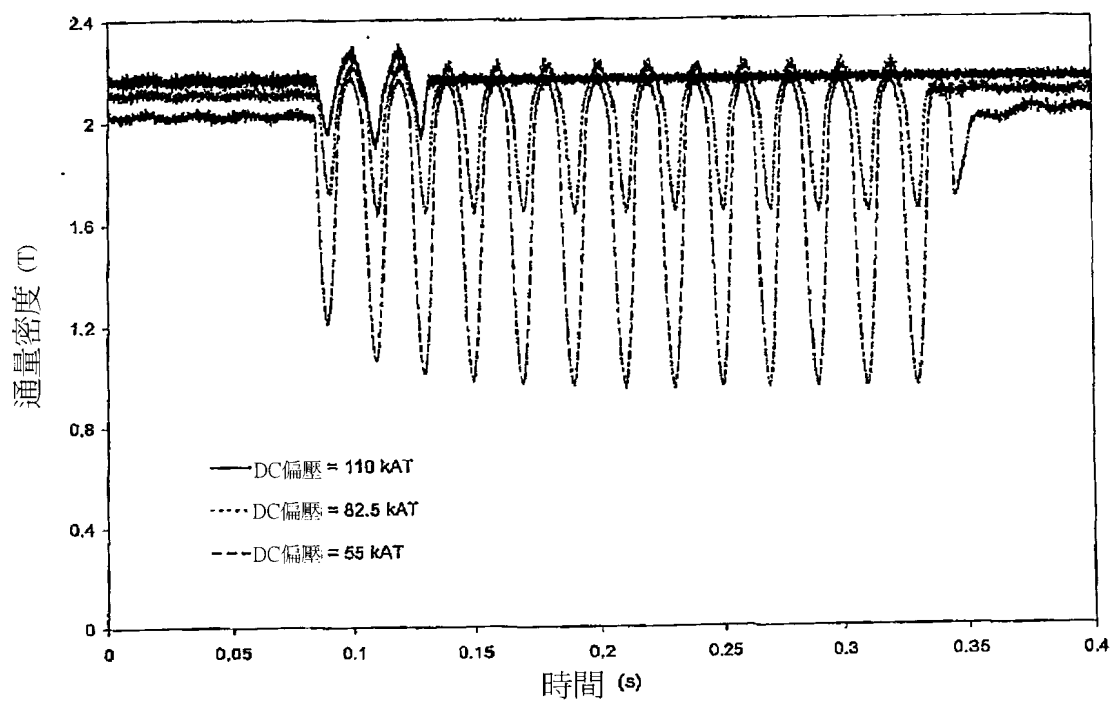
第29圖



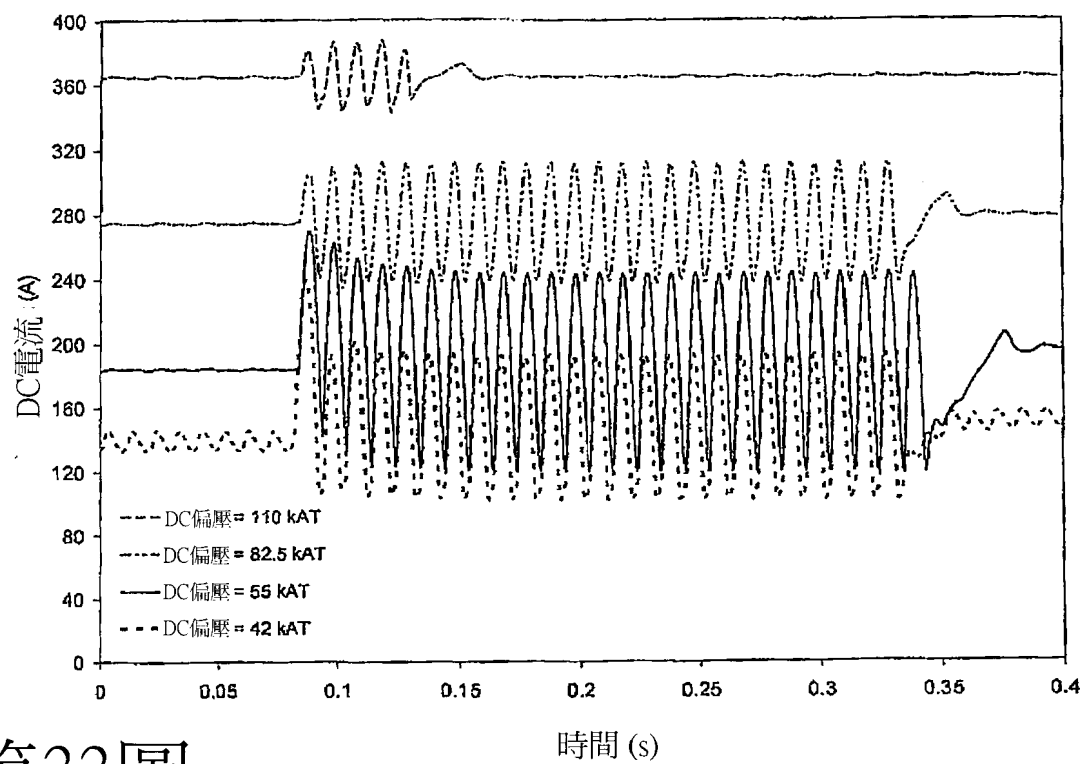
第30圖



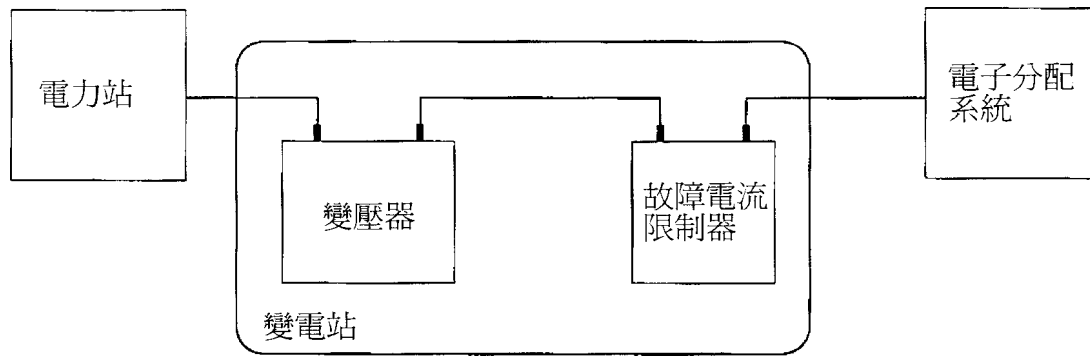
第31圖



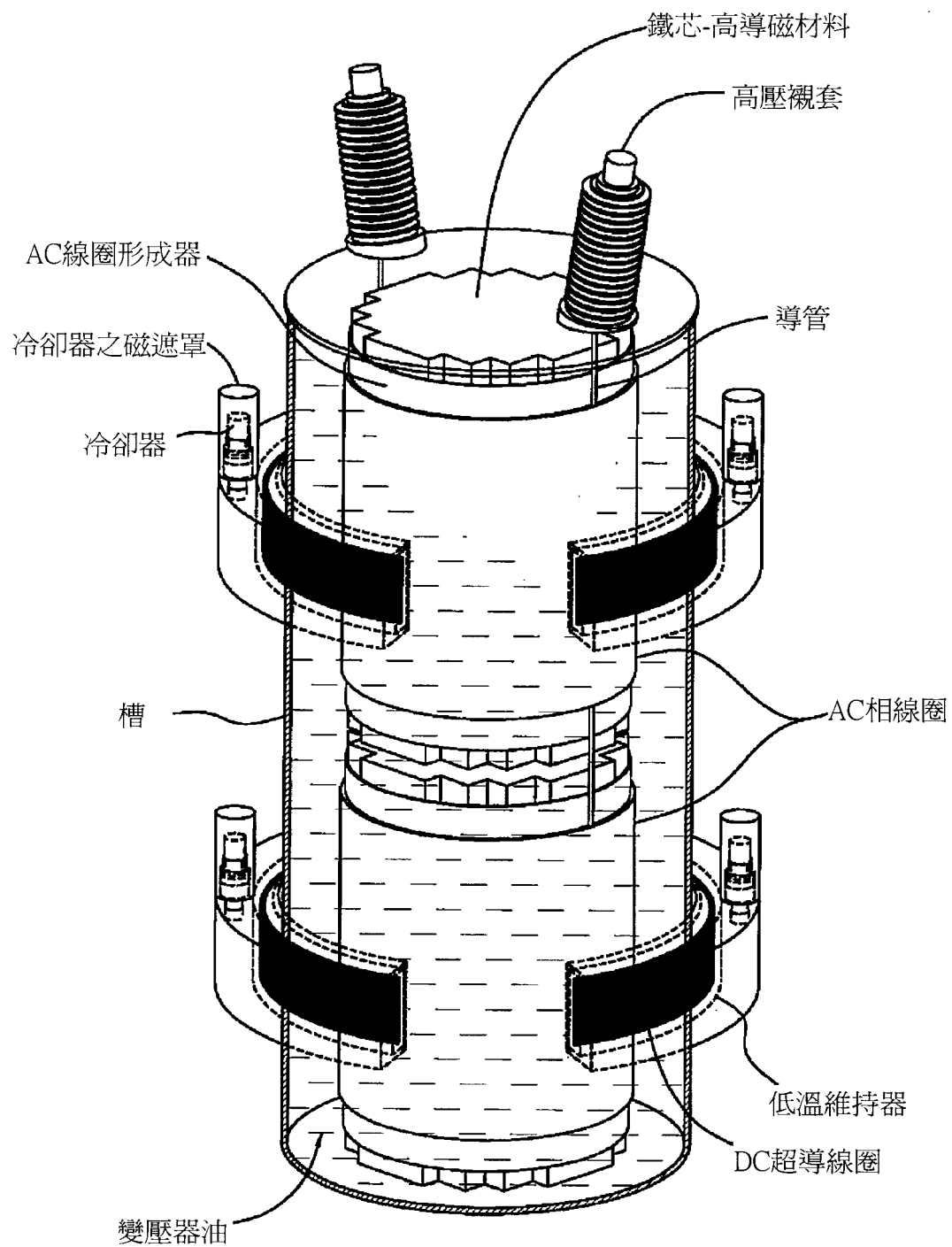
第32圖



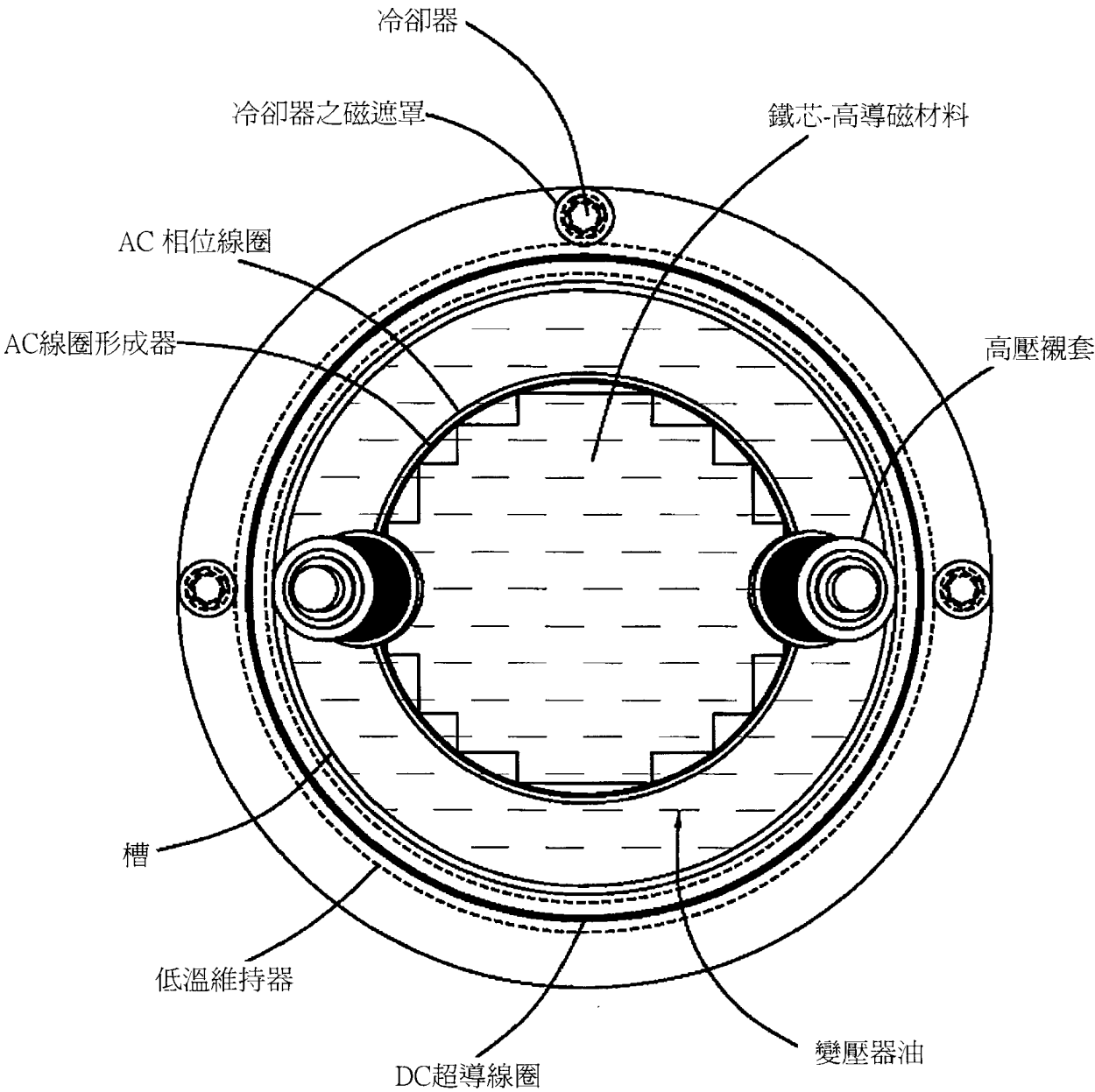
第33圖



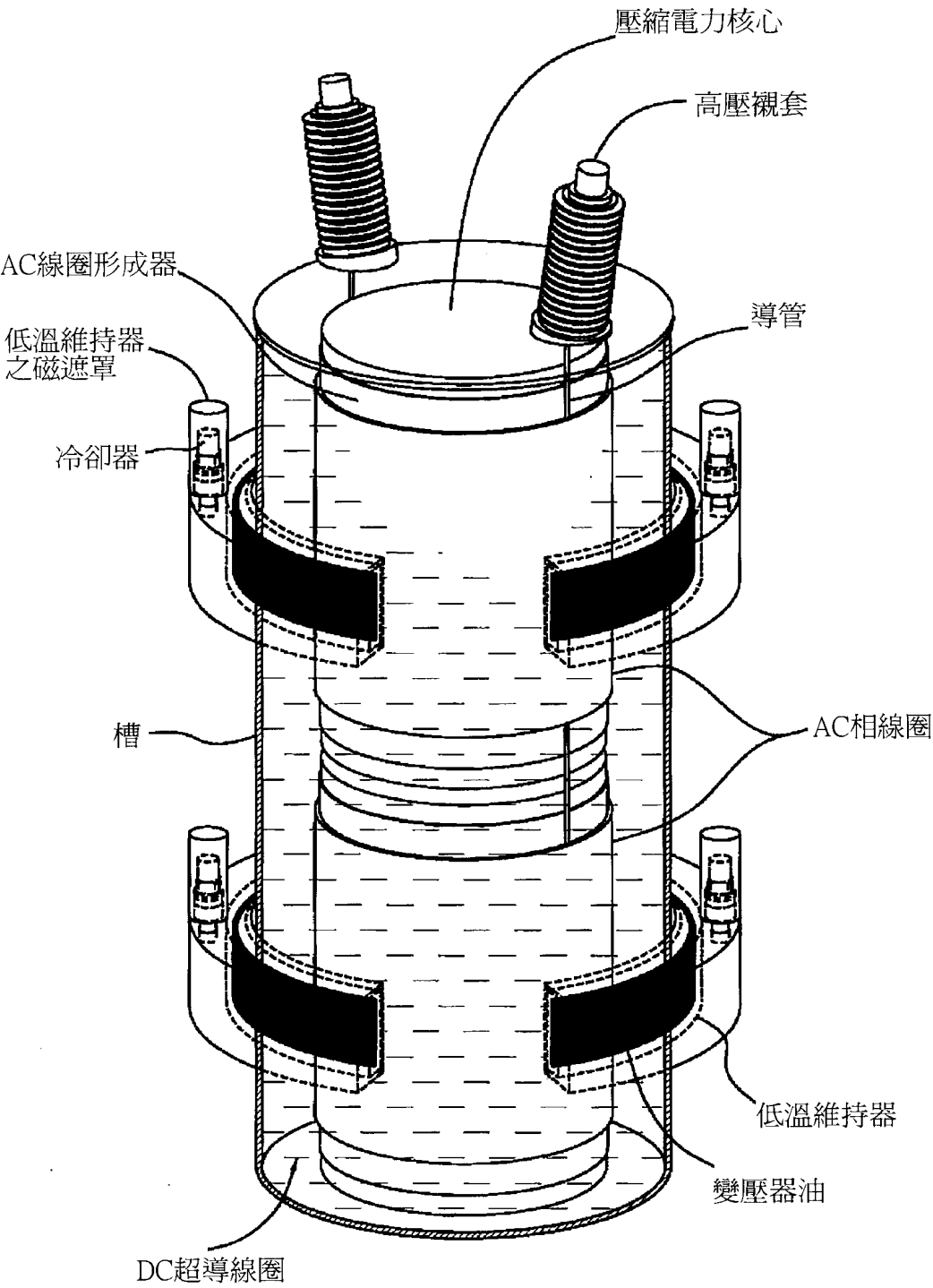
第34圖



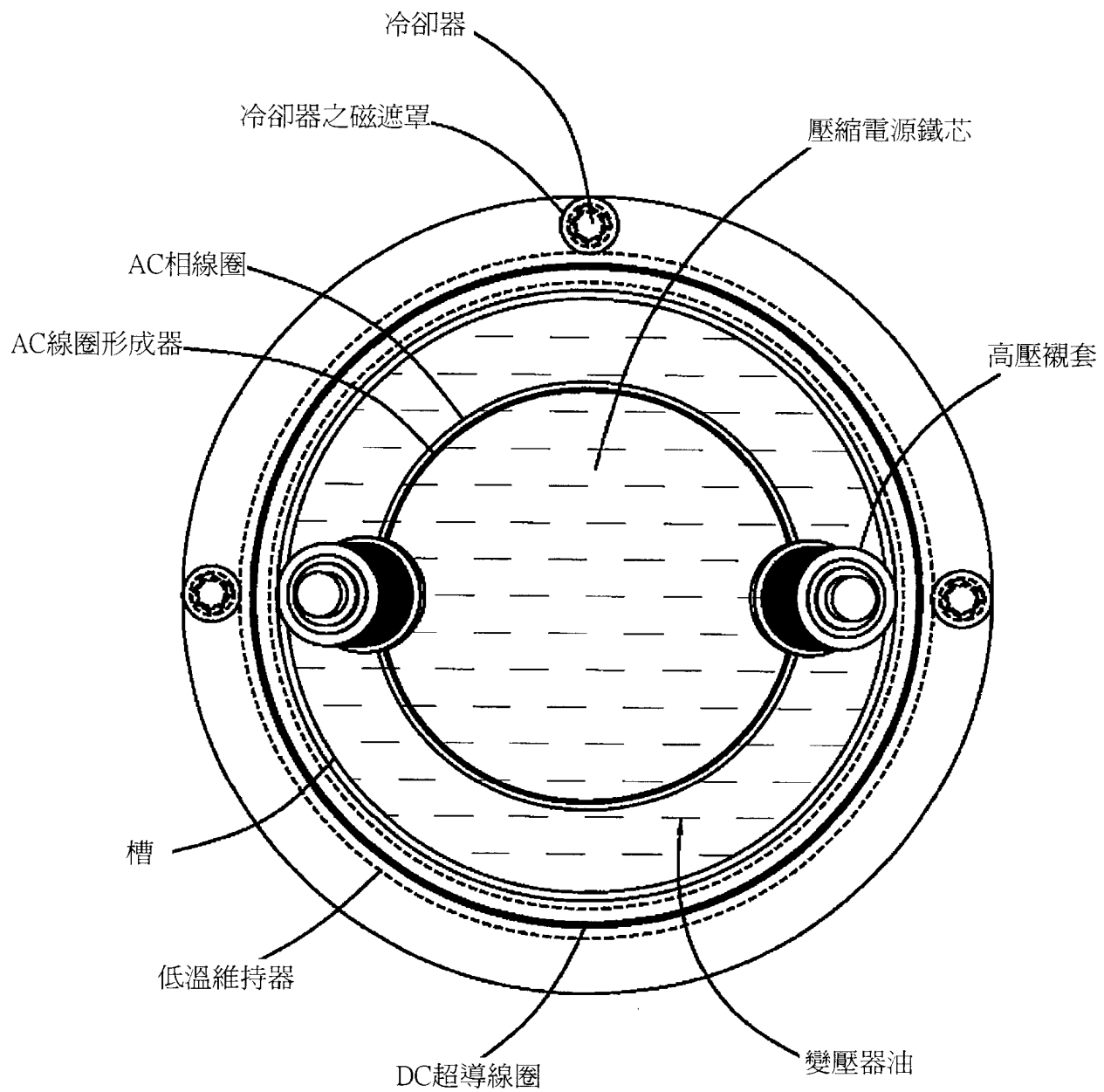
第35圖



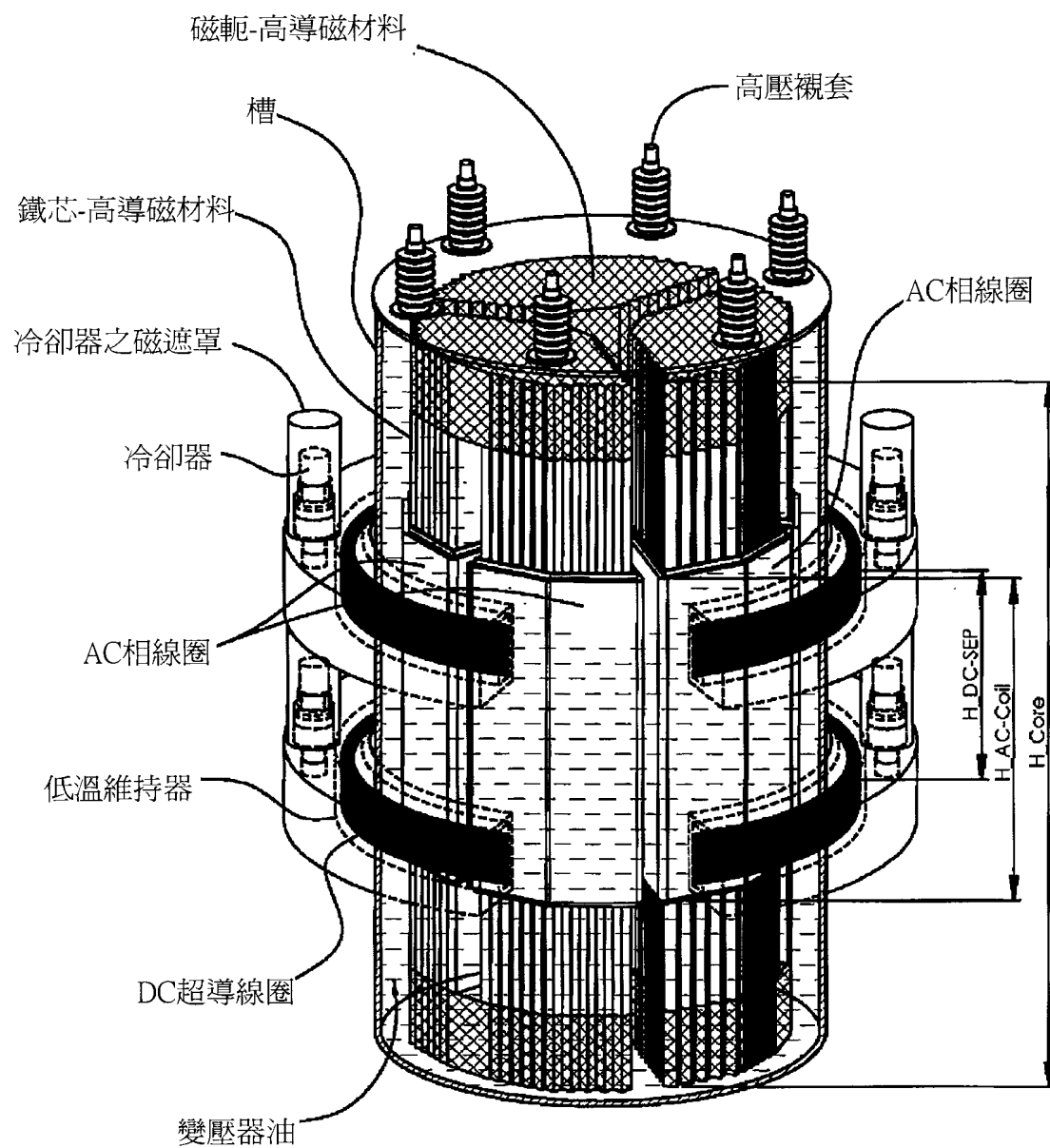
第36圖



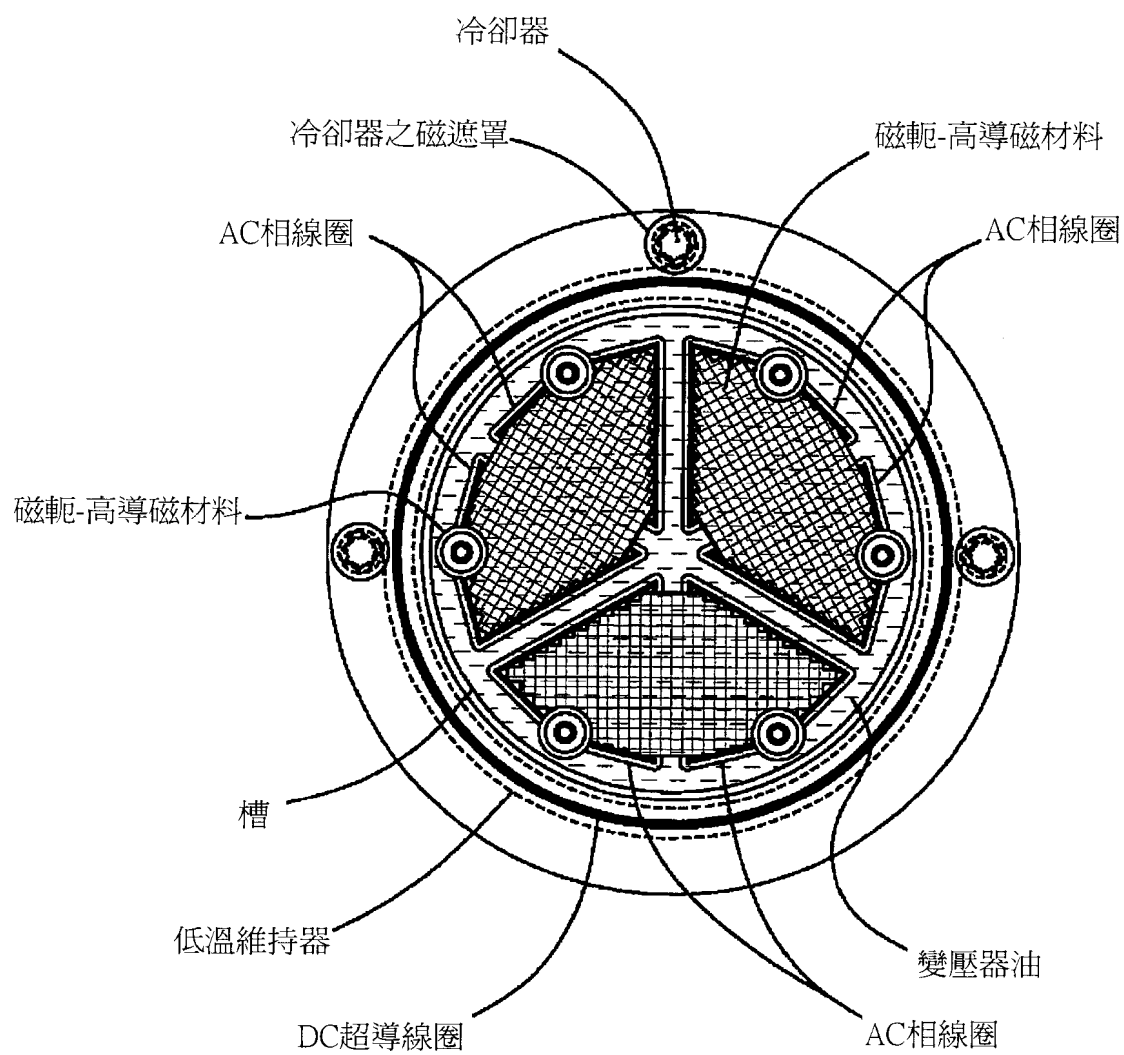
第37圖



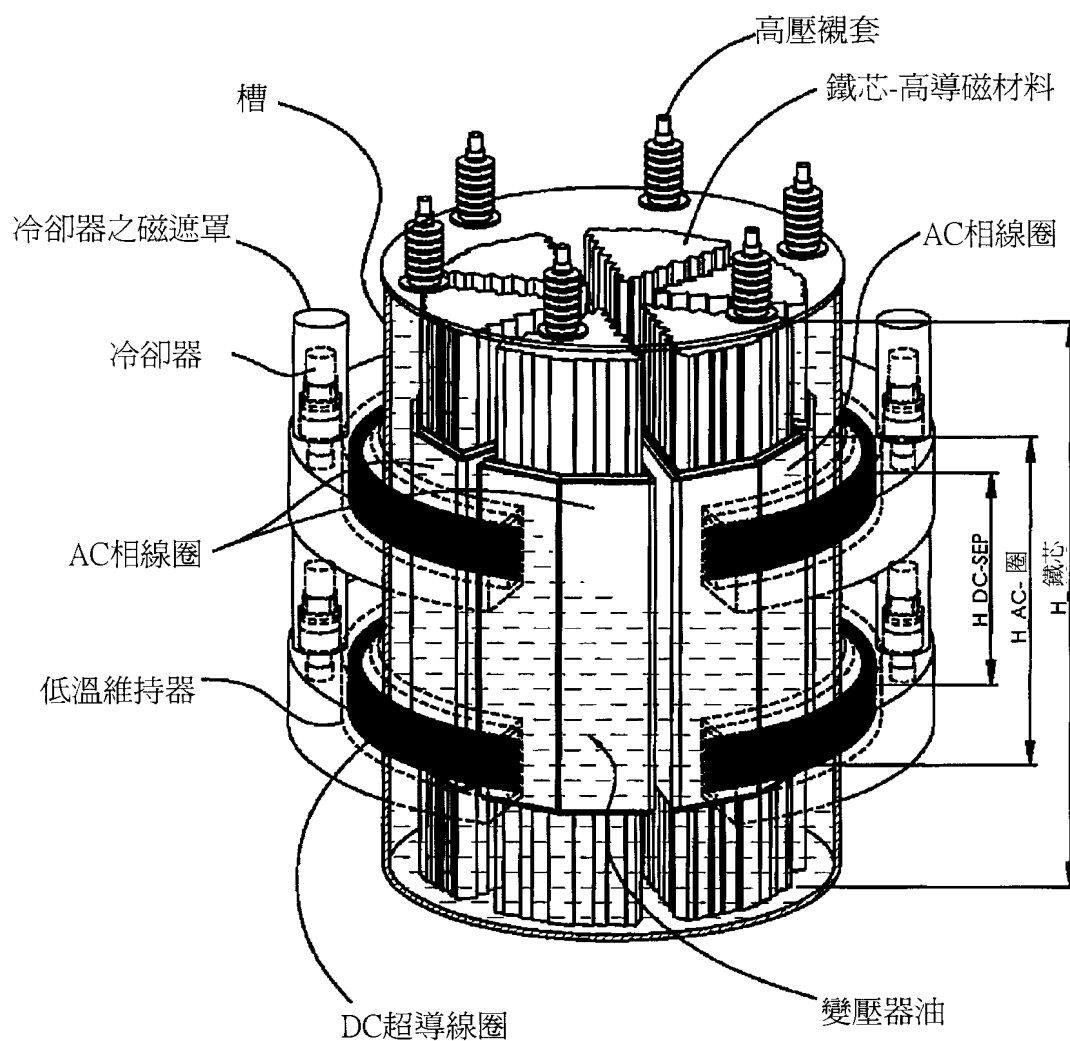
第38圖



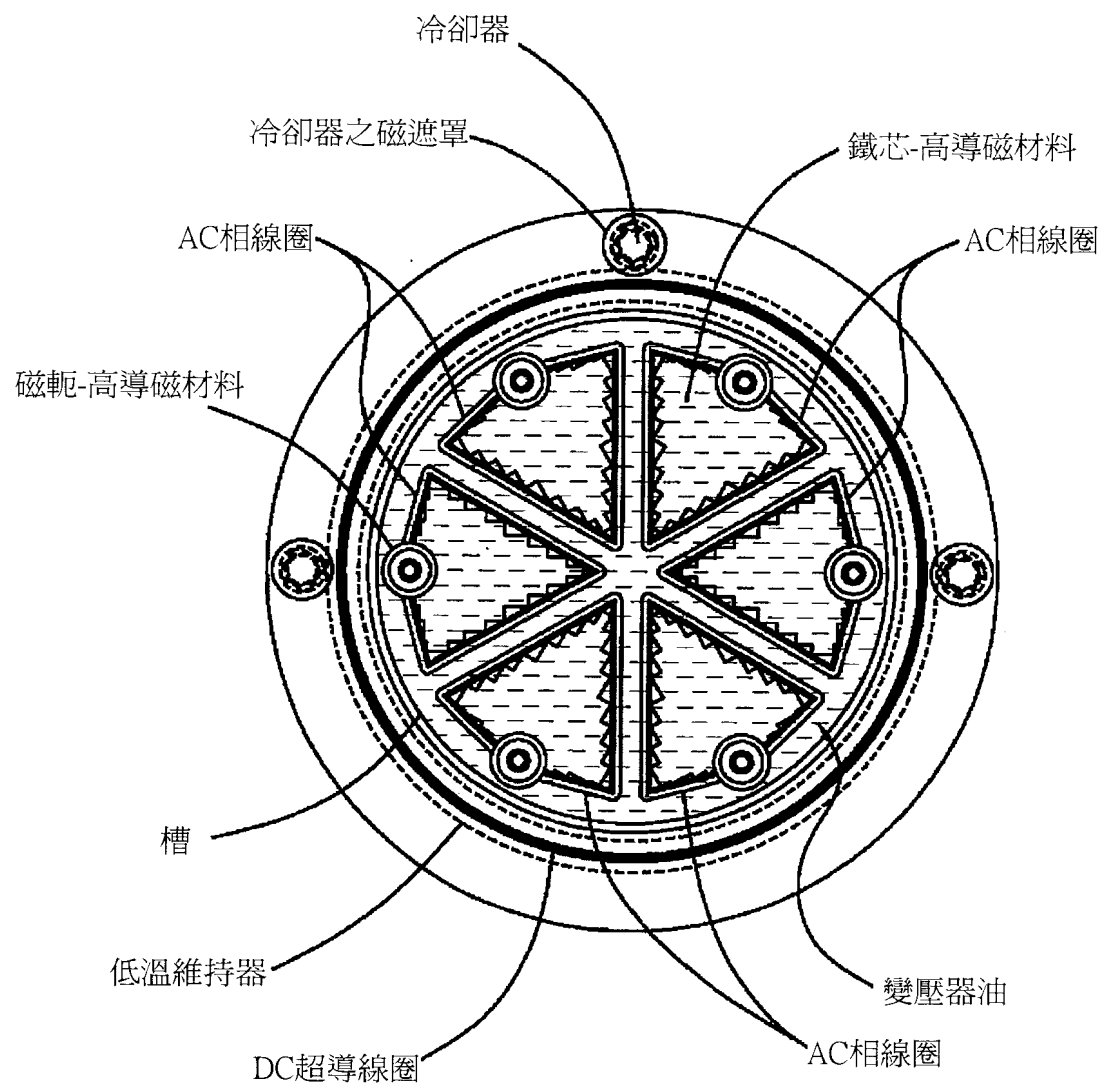
第39圖



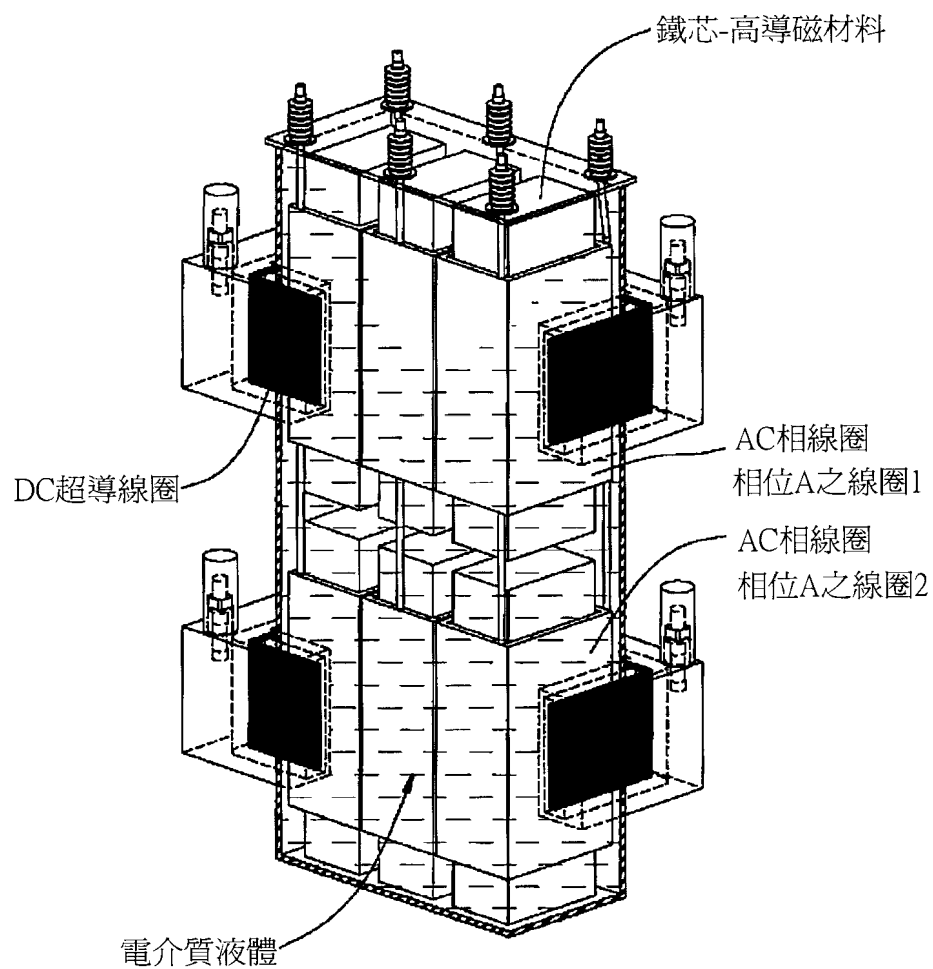
第40圖



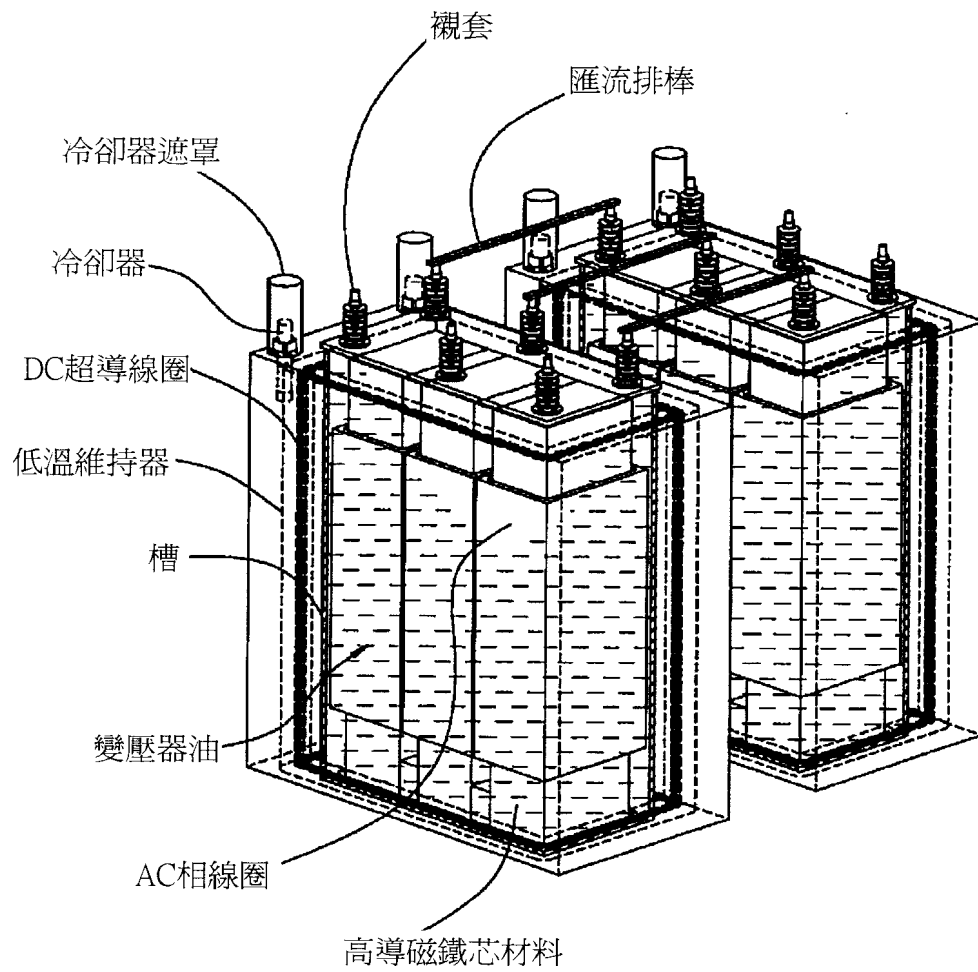
第41圖



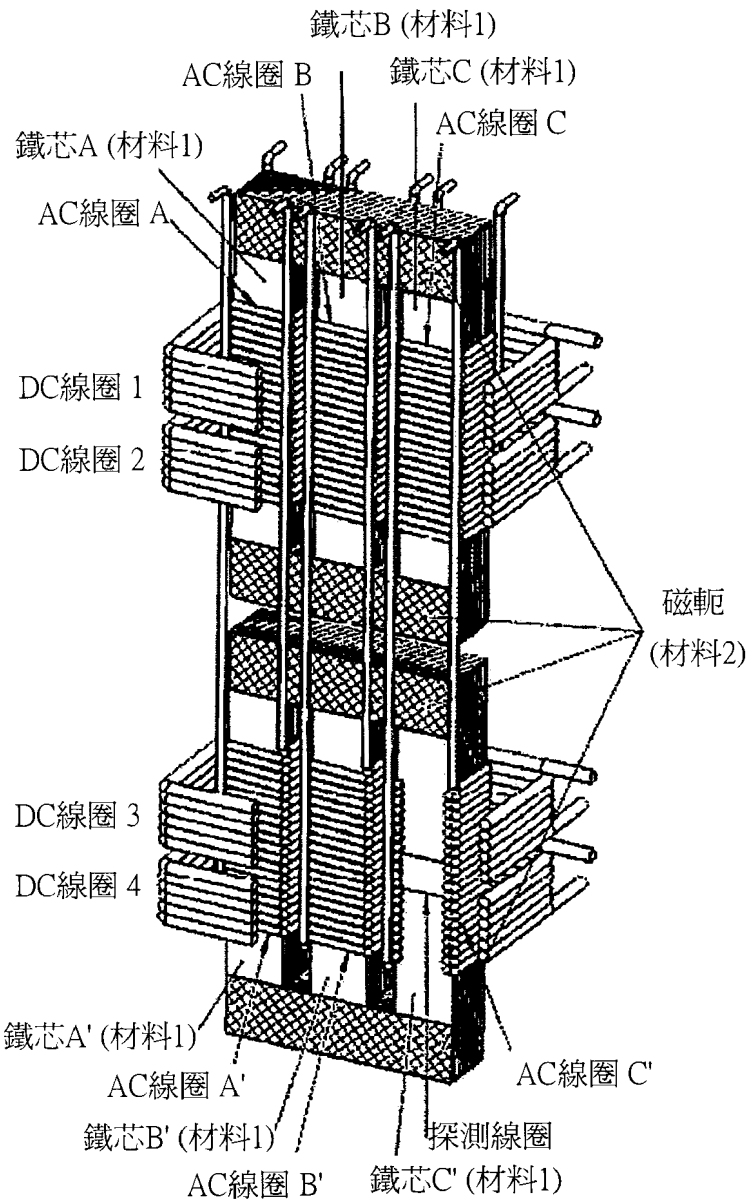
第42圖



第43圖



第44圖



第45圖

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 7 ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|----------|---------|
| 1 鐵芯柱 | 5 AC 線圈 |
| 2 DC 線圈 | 6 絕緣形成器 |
| 3 容器 | 7 絕緣遮罩 |
| 4 介電絕緣媒介 | |

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：