

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 高可靠度感應發電機虛功補償技術之研製(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-168-014-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：崑山科技大學電機工程系

計畫主持人：吳晉昌

計畫參與人員：張鈞涵，潘俊宏

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 8 月 8 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

分散式發電系統安全併聯運轉技術提昇之研究-  
高可靠度感應發電機虛功補償技術之研製

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2213-E-168-014

執行期間：94年08月01日至 95年07月31日

計畫主持人：吳晉昌

共同主持人：

計畫參與人員：張鈞涵，潘俊宏

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學電機工程系

中 華 民 國 95 年 8 月 1 日

## 高可靠度感應發電機虛功補償技術之研製

### A Reliable Reactive Power Compensator for Induction Generator

計畫編號：NSC 94-2213-E-168-014

執行期間：94年08月1日至95年07月31日

主持人：吳晉昌 崑山科技大學 電機工程系

計畫參與人員：張鈞涵，潘俊宏

#### 中文摘要

鼠籠式感應發電機因為具有結構簡單且堅固、體積小、成本低、操作簡單及維護容易等優點而非常適合中低容量之風力發電系統，本計畫主要研究鼠籠式感應發電機作為風力發電系統，由於鼠籠式感應發電機缺乏一個獨立的磁場電路，所以在運轉時須注入一額外的虛功電流作為激磁，因此需要一虛功補償系統來改善功率因數。本計畫將提出由一電力電容器及一電力轉換器兩者串聯組成之虛功補償系統。該電力電容器用以提供一基本虛功量，並降低電力轉換器之耐受電壓及容量，而該電力轉換器可使本計畫所提之虛功補償系統在某一範圍內無段調整其所提供之補償虛功量，並保護電力電容器。經虛功補償系統補償後感應發電系統將產生一接近單位功因之實功送回配電系統。本計畫所提之虛功補償系統同時具有控制電路簡單之特點，由實測結果可驗證本計畫所提之虛功補償系統具有優異之性能。

**關鍵詞：**感應發電機，虛功補償，電力轉換器

#### Abstract

The squirrel-cage induction generator has the advantages of rugged construction, simple and reliable operation, less expensive and little maintenance, and it is suitable for small capacity of power generation. In this project, the squirrel-cage induction generator is used as a wind generation system. Because the squirrel-cage induction generator has no an independent excitation system, it requires a reactive power compensator to improve its power factor. A new reactive power compensator, constructed by an AC power capacitor and a power converter connecting in series, is proposed in this project. The AC power capacitor is adapted to provide a basic reactive power and reduces the voltage rating and power capacity of the power converter. The power converter is used to adjust the compensating reactive power within a predetermined range and protect the AC power capacitor. The induction generation system will generate a current with sinusoidal waveform and in phase with the utility voltage after compensating by the proposed reactive power compensator. Hence, the input power factor is nearly unity. Moreover, the control circuit of proposed reactive power compensator is simplified. The test results are verified the ability of the proposed reactive power compensator.

Keywords: induction generator, reactive power compensation, power converter

## 一、前言及文獻探討

隨著生活品質及工商業發展而不斷地增加能源的需求及使用，然而由於人類大量的濫用石化燃料能源，造成了環境的破壞及地球溫室效應等的危機，因此有 1997 年京都議定書之訂定，將於明年實施，且地球上的石化能源由於需求快速的增加而加速枯竭，造成石油價格高漲，所以開發無污染的新能源為當務之急，而這些能源又以再生能源 (renewable energy) 的開發與利用最受世人重視。目前世界上較具發展潛力的再生能源有太陽能、風能、地熱能和生質能等，其中太陽能和風力發電在技術上已漸成熟並有電廠實際運轉經驗。

另一方面，台灣能源超過百分之九十八以上依賴進口，而進口能源之價格波動劇烈，將嚴重影響台灣經濟之發展，石化及核能為目前台灣最主要的能源，然而這兩種能源都會造成嚴重的污染，因此開發自有及無污染之能源便成為政府一貫的政策，近年來政府鼓勵學術界及產業界積極研發綠色新能源，目前太陽能電池、燃料電池及風力發電等的發展已日漸成熟，且亦漸漸被應用到配電系統，因此分散式電源成為配電系統一個新的重要趨勢，而分散式電源的安全穩定運轉亦成為一個重要的研究方向。

台灣為海島型國家，在沿海、高山及離島的許多地區之平均風速皆超過 5 公尺，風能蘊藏量相當可觀，故風力發電就成為發展再生能源的可行項目之一。不論在能源發展或是環境保護的觀點，風力發電是我國可以大力發展應用的一種再生能源。常見之應用於風力發電之發電裝置包含永磁式同步發電機、鼠籠式感應發電機及繞線式感應發電機等[1-14]，考慮風的變動特性，其中尤以鼠籠式感應發電機因為具有結構簡單且堅固、體積小、成本低、操作簡單及維護容易等優點而非常適合中低容量之風力發電系統；而繞線式感應發電機由於成本較高，一般均用於較高容量發電之應用。台灣目前正大力推展綠色能源，而風力發電廠之建立正積極籌備及規劃，因此學術界宜儘速進行感應發電系統之研究，以滿足工業界所需。由於感應發電機缺乏一個獨立的磁場電路，所以在不論在單獨運轉或並聯到配電系

統時均必須連接一額外的虛功率補償設備作為激磁系統，以維持其定子磁場，並控制發電機的端電壓或改善功率因數。感應發電機大多採用以電容器組為主的虛功補償技術[15-20]，然而電容器應用在工業配電系統時存在許多問題，比較嚴重是諧振及諧波注入問題，它將影響配電系的穩定性及安全性，雖然電容器存在著許多問題，然而在成本考量下，仍然被大量採用；近年來，另外一種靜態虛功補償技術被發展出來，它是利用純粹電力電子元件組成之電力轉換器 (power converter) 來產生所需之虛功 [21,22]，它可線性調整虛功補償量，且可避免被動式電容器組所存在之缺點，但它卻因電力轉換器之容量及損失較大，且價格昂貴，因而限制了它的實用性。因此如何發展一價格合理，而性能優越的虛功補償系統以滿足感應發電機所需，對於感應發電系統至為重要。

## 二、目的

由於感應發電機缺乏一個獨立的磁場電路，所以在運轉時必須注入一額外的虛功電流作為激磁，以維持其定子磁場，因此感應發電機直接並連於配電系統時，必須連接一外接的虛功率補償設備來改善其功率因數。本計畫之目的將發展一高可靠度之感應發電機之虛功率補償技術，它結合一被動電容器組及一電力轉換器串聯，用以並連於感應發電機之輸出端，藉由調整虛功補償電流大小來改善功率因數，使感應發電機產生一接近單位功因之實功送回配電系統，並使輸出電流維持低諧波失真，本計畫所提之虛功率補償技術由於包含一被動電容器組，因此可有效降低電力轉換器容量，且由於包含一電力轉換器，因此可防止被動式電容器組可能產生之諧振。

## 三、研究方法

感應發電機包含鼠籠式及繞線式兩種，其中尤以鼠籠式感應發電機因為具有結構簡單且堅固、體積小、成本低、操作簡單及維護容易等優點而非常適合中低容量之發電系統，圖 1 所示為鼠籠式感應機的單相等效電路，而圖 2 所示為鼠籠式感應機之轉矩-速度

特性曲線顯示，由圖中可清楚的看出當感應電機操作在同步轉速  $n_{sync}$  以下將可操作成一電動機而產生一機械轉矩，而當感應電機由外部的原動機驅動其轉速高於同步轉速  $n_{sync}$  時，其可操作成發電機，而產生電力輸出。

感應發電機在應用上主要有兩種供電方式：(1) 做為與市電的電力系統並聯之感應發電機，稱為市電並聯型感應發電機 (Grid-Connected Induction Generators)；(2) 應用在獨立供電系統上的感應發電機，稱自激式感應發電機 (Self-Excited Induction Generators)。自激式感應發電機其架構如圖 3 所示，多應用於市電之電力系統無法架設之場所 (如高山或是離島地區)，感應發電機發出來的電力直接供應負載；而市電並聯型感應發電機則將感應發電機產生之電力併入電力系統，市電並聯型感應發電機又可分成直接並聯型及雙轉換器並聯型，其架構如圖 4 所示，直接並聯型感應發電機其定子端直接連接到配電系統饋線，直接並聯型感應發電機其轉子轉速必須大於由配電系統頻率決定之同步轉速才可發電，其發電量由感應發電機轉子轉速來決定，其架構簡單，但無法操作在最大功率輸出；而為了使感應發電機操作在最大功率輸出，感應發電機必須單獨運轉，它發出來的電力其頻率及大小無法固定，因此如圖 4(b) 所示必須藉由兩電力轉換介面之控制將其轉換成固定頻率之電力才能併入電力系統，雙轉換級式電力轉換介面先將感應發電機產生之變動頻率電力轉換到直流，再將直流電能轉換成與電力系統同步之交流電能併入電力系統，但其將因包含兩電力轉換介面而增加成本。

本計畫主要研究鼠籠式感應發電機作為分散式發電系統，由於鼠籠式感應發電機缺乏一個獨立的磁場電路，所以在不論在單獨運轉或直接並聯於配電系統時均必須由配電系統引入一額外的虛功率電流作為激磁，以維持其定子磁場，因此鼠籠式感應發電機系統之功因將很低，而一般分散式發電系統所發出之電力均被要求功因要達到 0.95 以上，且總電流諧波失真必須小於 5%，因此本計畫之目的將發展一應用於直接市

電並聯型之感應發電機之虛功率補償技術，它結合一被動電容器組及一電力轉換器串聯，用以並連於感應發電機之輸出端，藉由調整虛功補償電流大小來改善功率因數，使感應發電機產生一接近單位功因之實功送回配電系統，且使得送回電力系統之電流其總諧波失真小於 5%。

目前常用之虛功補償系統包含電容器組，靜態虛功補償器，同步調相機等，在成本考量下，工業界大多採用以電容器組為主的虛功補償技術，若採用固定電容器組來補償虛功，因為補償的虛功量固定，而感應發電機產生之虛功量將隨轉速變動而變動，因此固定電容器組將無法達成單位功因。而要使補償虛功量能隨感應發電機轉速變動，必須採用自動功因修正系統，使用多組電容器利用電磁開關來決定投入之電容器數目，它的虛功補償量是分段調整的，無法線性調整，因此補償後仍無法達到單位功因；另外又有將電容器組再配合閘流體 (thyristor) 來作為虛功補償量調整之靜態虛功補償技術，其中包含閘流體切換電容器 (Thyristor-Switched Capacitor TSC)、固定電容閘流體控制電抗器 (Fixed Capacitor, Thyristor-Controlled Reactors FC-TCR)，閘流體切換電容器應用於感應發電系統如圖 5 所示，它與自動功因修正系統類似，只是開關元件由電磁開關改為閘流體；而閘流體控制電抗器應用於感應發電系統如圖 6 所示，固定電容閘流體控制電抗器可藉由控制電抗器串接之閘流體之觸發角來無段調整補償虛功量，但卻由於控制電抗器之閘流體沒有導通整個週期而將產生諧波電流。

綜合以上技術，無論開關設備為何，虛功補償均需採用電容器，近年來由於輸配電系統上非線性負載的使用快速成長，如不斷電系統 (UPS)，整流器 (rectifier)，變頻器 (cycle-converter) 及馬達驅動器等，這些負載之輸入特性為非線性，因此將產生大量的諧波電流回饋到輸配電系統，造成輸配電系統之諧波污染，這些諧波電流將導致系統電壓

波形畸變，變壓器過熱及電力設備誤動作，影響供電品質，而電容器的阻抗隨頻率增大而下降，因此在輸配電系中虛功補償電容器將成為諧波電流的低阻抗路徑，更甚的是虛功補償電容器可能與系統電抗產生串／並聯諧振，若其諧振頻率等於或接近諧波電流頻率，則將造成諧波放大，產生非常大的諧波電壓及電流，可能破壞電容器及鄰近之電力設備，根據台電調查，在電力系統中受諧波破壞事故燒毀之元件中被動式電力濾波器約在 65%，而電力電容器約 26%，近年來由於諧波污染嚴重，在工業界造成電容器的破壞頻傳，因此電容器的裝設必須非常小心，以免造成嚴重的破壞。

近年來，另外一種靜態虛功補償技術被發展出來，它是利用純粹電力電子元件組成之電力轉換器(power converter)來產生所需之虛功，其架構如圖 7 所示，它可依據感應發電機之虛功狀態隨時調整虛功補償量，且無被動式電容器所可能產生與系統電抗諧振之缺點，但它卻受限於電力轉換器之容量及損失，且價格昂貴，而限制其實用性。

本計畫所提之虛功補償系統如圖 8 所示，它是由一被動式電力電容器及一電力轉換器兩者串聯組成。該被動式電力電容器用以提供一虛功量，藉此降低該電力轉換器所提供之虛功量，因而可降低電力轉換器之耐受電壓及容量，由於電力電容器之成本遠低於電力轉換器之成本，因此本計畫所提之虛功補償系統其製造成本將可遠低於純粹以電力轉換器為主之虛功補償器之製造成本，且損失可較小。該電力轉換器可使本計畫所提之虛功補償系統在某一範圍內無段調整其提供之補償虛功量，由於直接並接於配電系統之感應發電機有一定之輸出功率之操作範圍，其所需之虛功量亦有一定範圍，因此藉由串聯之電力轉換器之控制，可使感應發電機在其可操作之範圍內送回配電系統之電力均可達到單位功因，且可使市電電流近似一正弦波，並避免電力電容器作為虛功補償裝置時可能產

生之諧振及諧波電流注入問題。

假設三相市電電壓為平衡，且可表示為

$$\begin{aligned} v_{sa}(t) &= V_s \sin \omega t \\ v_{sb}(t) &= V_s \sin(\omega t - 120^\circ) \\ v_{sc}(t) &= V_s \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

在電力轉換器未輸出電壓時，則由交流電容器所提供的虛功量為：

$$Q_p = \frac{3}{2} \omega C V_s^2 \quad (2)$$

在此  $\omega$  為角頻率， $C$  為電力電容器之電容量。由於電力轉換器只使用一直流電容器放在其直流側為能量緩衝器，因此在穩態且不考慮電力轉換器本身之損失時電力轉換器不可吸入實功，僅可作為輸出補償虛功量之調整，因此電力轉換器必須輸出一與電源電壓同相位之弦波電壓，它可表示為：

$$\begin{aligned} v_{ca}(t) &= \pm V_c \sin \omega t \\ v_{cb}(t) &= \pm V_c \sin(\omega t - 120^\circ) \\ v_{cc}(t) &= \pm V_c \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (3)$$

此時橫跨在電力電容器上的電壓振幅為：

$$V_p = (V_s \mp V_c) \quad (4)$$

則虛功補償系統送出之總虛功輸出為：

$$Q_c = \frac{3}{2} \omega C V_s (V_s \mp V_c) \quad (5)$$

經由虛功補償系統送出之總虛功輸出與電力電容器單獨存在時提供的虛功量之關係為：

$$Q_c = Q_p \frac{(V_s \mp V_c)}{V_s} \quad (6)$$

由 (6) 式可知藉由串聯電力轉換器之控制可以改變虛功補償系統所提供的虛功量。在電力轉換器沒有過調變的情況下，輸出最大的基波電壓  $V_{c,max}$  與電力轉換器直流側電壓  $V_{dc}$  之關係可表示為：

$$V_{c,max} = \frac{V_{dc}}{2} \quad (7)$$

因此虛功補償系統最小虛功輸出為：

$$Q_{min} = Q_p \left( 1 - \frac{V_{dc}}{2V_s} \right) \quad (8)$$

而虛功補償系統最大虛功輸出為：

$$Q_{max} = Q_c \left( 1 + \frac{V_{dc}}{2V_s} \right) \quad (9)$$

因此虛功補償系統之虛功輸出可在  $Q_{min}$  和  $Q_{max}$  之間做線性調整。如果知道感應發電機所需虛功的變化範圍，則我們可以由式 (2)、(8)、(9) 來決定所需電力轉換器直流側的電壓高低、電力電容器之電容量大小等參

數，這樣就可在感應發電機之操作範圍內送回配電系統之電力均可達到單位功因。

為了獲得較好的響應速度，電力轉換器採用電流控制模式，雖然電力轉換器採用電流控制模式，但前面最大虛功及最小虛功之補償範圍仍有效。為了簡化控制電路，本計畫將提出一非常簡單之控制方法，由於期望感應發電機送回市電之電流為純正弦波且與市電電壓同相位以達到單位功因，補償後之市電電流為：

$$\begin{aligned}i_{sa}(t) &= I_1 \sin(\omega t) \\i_{sb}(t) &= I_1 \sin(\omega t - 120^\circ) \\i_{sc}(t) &= I_1 \sin(\omega t + 120^\circ)\end{aligned}\quad (10)$$

其中  $I_1$  為期望市電電流的振幅。因此若將電力轉換器之控制對象由電力轉換器之電流改為市電電流，則其參考信號之波形可直接與市電電壓一樣，唯一要決定之參數僅剩下市電電流的振幅，市電電流的振幅決定由感應發電機送回配電系統之實功率；反之，若控制對象為電力轉換器之電流，則其參考信號為一超前市電電壓某一相位之弦波，其要決定之參數將包含振幅及相位，其振幅及相位之決定必須藉由複雜的功率計算。市電電流的振幅可由實功率平衡觀點來推導，假設電力轉換器不消耗實功，則在穩態下，感應發電機所產生之實功率必須等於市電所吸收之實功率，亦即沒有實功率進出電力轉換器，故直流電容上之平均儲能不改變，因此它的平均電壓也不改變，但若此條件不滿足時，即當感應發電機所產生之實功率不等於市電所吸收之實功率，則差額部分必須藉由直流電容上的儲能經由電力轉換器轉換成交流電能來供應，若感應發電機所產生之實功率小於市電吸收之實功，則儲能電容之電壓將下降。反之，若感應發電機所產生之實功率大於市電吸收之實功，則儲能電容之電壓將上升，所以電容上之平均電壓將可提供實功率平衡所需的資訊，因此可以藉由直流電容電壓之控制來控制市電電流之振幅，以達到系統的系統之實功平衡，因而本計畫所提之電力轉換器控制方法就完全不需藉由複雜的功率計算來求得參考電流，故可大幅簡化控制電路，整個系統只須一組電流檢出器來偵測市電電流即可完成虛功補償之功能。

圖9所示為本計畫所提虛功補償系統電力轉換器之控制方塊，由前面所述，本計畫

所提虛功補償系統之電力轉換器之控制對象為市電電流，因此必先計算出市電電流之參考信號，期望的市電電流為與市電電壓同相位之弦波，由式(10)中可以看出市電電流參考信號僅有振幅為未知參數，而振幅可由直流電容電壓之控制而得，因此控制電路中首先檢出電力轉換器直流電壓，再將檢出之直流電壓與其設定值比較，比較結果再經PI控制器即可得到市電電流參考信號之振幅信號；由於三相三線式配電系統中三相總電流為零，因此電力轉換器只需控制其中任兩相市電電流即可完成三相電流之控制，為了得到市電電流參考信號之波型及相位，則將檢出 a 相與 c 相電壓經帶通濾波器取得其基本波成分，將此兩基本波成分與 PI 控制器輸出之振幅信號相乘便得到市電電流參考信號，再將此市電電流參考信號與實際檢出之 a 相與 c 相市電電流作閉迴路控制，控制器之輸出送至脈寬調變器電路以產生電力轉換內電力電子開關之控制信號。因此由本計畫所提虛功補償系統電力轉換器可藉由非常簡單的控制方塊即可達到使感應發電機產生一接近單位功因之實功送回配電系統，且使得送回電力系統之電流之總諧波失真小於 5% 之功能。

#### 四、實測結果

為了驗證本計畫所發展之虛功補償系統，本計畫建立了一三相感應發電系統及虛功補償系統之雛形，感應發電機由一台二分之一馬力之感應電動機來取代，而感應發電機的轉子由另外一台二分之一馬力之感應電動機來帶動，此原動機由一變頻器驅動。而虛功補償系統之參數如表 1 所示。表 2 所示為感應發電機在不同轉速下，所產生出來的實、虛功量及功率因數，由表 3 中可看出原動機之轉速越高，則其所產生之實功率越高，且其產生之虛功量亦隨著轉速增加而增加。

為了驗證本文所述之虛功補償系統之可行性，在此本文就對包括未加補償器、只加固態電容器及本文所提之虛功補償系統來做比較。圖 10 所示為在發電機發出功率為 300W 時且未加任何補償下感應機發電機 R 相電壓與送回配電系統 R、S、R 三相電流波形圖，由圖中可以很明顯的發現，在配電系統電壓正常之情況下而未加上任何的補償系統時，感應發電機送回配電系統的三相

電流為弦波電流，但其相位嚴重落後電源電壓，其功率因數均小於 0.5，圖 11 所示為發電機發出功率為 300W 時發電機輸出電流之頻譜，由圖中可看出它只含一小量的三次諧波。圖 12 所示為在發電機發出功率為 300W 時且加上一 50  $\mu F$  固定電容器下之 R 相電壓及 R、S、T 三相電流波形圖，有圖中可看出電壓與電流之相位差有縮小，但是電流之諧波增大，有出現一高頻震盪現象，圖 13 所示為發電機在發電功率為 300W 且加上一 50  $\mu F$  且固定電容器下配電系統電流之頻譜圖，由圖中可看出它含有許多低次諧波成分。而圖 14 所示為在發電機發出功率為 300W 時且加上本計畫所發展之虛功補償系統時之 R 相電壓及 R、S、T 三相電流波形圖，由圖中可以看出感應發電機經由本文所發展之虛功補償系統之後，電壓與電流幾乎同相位，且三相電流為弦波，因此可達到單位功因。而圖 15 所示為感應發電機在發電功率 300W 下之市電電流頻譜，由圖中可看出市電電流幾乎不含諧波，其電流之總諧波失真只有 1%。

目前配電系統電壓常常因為大量的非線性負載使用而造成失真，因此以下即針對配電系統電壓失真的情形下作實測，為了製造電壓失真，所以在系統輸入端串聯一三相電感，而在三相電感後加入一非線性負載以產生電壓失真，產生之電壓諧波失真約為 9.2% 左右。圖 16 所示為在電壓波型失真下，感應發電機並聯於配電系統上且未加上任何之虛功補償系統時 R 相電壓與送回配電系統的 R、S、T 三相電流波形圖，此時發電機發出功率為 300W，從圖中可以看出送回配電系統端的電流因為受到電壓失真的影響而使得其波形也產生畸變，其總諧波失真約為 10%。圖 17 所示為感應發電機為在電壓波型失真下，感應發電機並聯於配電系統上且加上固定電容組作虛功補償之測量波形圖，從圖 17 和圖 16 相比較中可以看出在配電系統電壓失真下加入電容器做虛功補償將導致送回配電系統之三相電流產生更大的諧波失真，其總諧波失真高達 51%。圖 18 所示為感應發電機為在電壓波型失真下，感應發電機並聯於配電系統上且加上虛

功補償系統時所量測到的波形圖，從圖中我們可以發現，在電壓失真的情形之下，含有虛功補償系統之市電電流仍能維持為弦波且與電源電壓同相位，其總諧波失真只有 2.5%，因此證明本計畫所發展之虛功補償系統可使感應發電機即使在配電系統失真下，亦能送回高品質的三相電力。

## 五、結果與討論

本計畫發展發展一高可靠度之感應發電機之虛功率補償技術，它結合一被動電容器組及一電力轉換器串聯，用以並連於感應發電機之輸出端，藉由調整虛功補償電流大小來改善功率因數，使感應發電機產生一接近單位功因之實功送回配電系統，並使輸出電流維持低諧波失真，本計畫所提之虛功率補償技術由於包含一被動電容器組，因此可有效降低電力轉換器容量，且由於包含一電力轉換器，因此可防止被動式電容器組可能產生之諧振。

由實測結果可看出本計畫所完成之高可靠度之感應發電機之虛功率補償器不論在配電系統正常或失真下，均能使感應發電機系統送回高品質的三相電力。

## 六、計畫成果自評

近年來，地球上的石化能源由於需求快速的增加而加速枯竭，造成石油價格高漲，而且京都議定書已於 2005 年正式實施，所以開發無污染的新能源為當務之急。台灣為海島型國家，在沿海、高山及離島的許多地區之平均風速皆超過 5 公尺，風能蘊藏量相當可觀，故風力發電就成為發展再生能源的可行項目之一。鼠籠式感應發電機因為具有結構簡單且堅固、體積小、成本低、操作簡單及維護容易等優點而非常適合中低容量之風力發電系統，因此本計畫發展一高可靠度之感應發電機之虛功率補償技術，它結合一被動電容器組及一電力轉換器串聯，用以並連於感應發電機之輸出端，藉由調整虛功補償電流大小來改善功率因數，使感應發電機產生一接近單位功因之實功送回配電系統，並使輸出電流維持低諧波失真，而由實測結果可看出本計畫所完成之主動式電力調節器確實能得到期望的功能，因此證明本計畫之執行能達到如預期之結果。



## 七、參考資料

1. D. Seyoum, M. F. Rahman, C. Grantham, "Terminal voltage control of a wind turbine driven isolated induction generator using stator oriented field control" IEEE APEC, Vol. 2, Feb. 2003, pp. 846-852.
2. L. Wang, C. H. Lee, "A novel analysis on the performance of an isolated self-excited induction generator," IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 12, No. 2, June 1997, pp. 109-117.
3. A. M. Eltamaly, "New formula to determine the minimum capacitance required for self-excited induction generator" IEEE PESC, Vol. 1, Jun. 2002, pp. 106-110.
4. M. A. A. Saffar, E. C. Nho, T. A. Lipo, "Controlled shunt capacitor self-excited induction generator" IEEE IAS, Vol. 2, Oct. 1998, pp. 1486-1490.
5. E. Muljadi, J. Sallan, M. Sanz, C. P. Butterfield, "Investigation of self-excited induction generators for wind turbine applications" IEEE IAS, Vol. 1, Oct. 1999, pp. 509-515.
6. E. S. Abdin, W. Xu, "Control design and dynamic performance analysis of a wind turbine-induction generator unit" IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 15, No. 1, Mar. 2000, pp. 91-96.
7. E. S. Abdin, "Digital output controller design for a wind-induction generator conversion scheme," IEEE IECON, Vol. 2, Oct. 2000, pp.1439-1444.
8. R. Pena, R. Cardenas, R. Blasco, G. Asher, J. Clare, "A cage induction generator using back to back PWM converters for variable speed grid connected wind energy system," IEEE IECON, Vol. 2, Nov. 2001, pp. 1376-1381.
9. K. Raiambal, C. Chellamuthu, "Modeling and simulation of grid connected wind electric generating system," IEEE TENCON, Vol. 3, Oct. 2002, pp. 1847-1852.
10. L. Wang, Y. F. Yang, S. C. Kuo, "Analysis of grid-connected induction generators under three-phase balanced conditions," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 1, Jan. 2002, pp. 413- 17.
11. L. M. Popa, F. Blaabjerg, I. Boldea, "Wind turbine Generator modeling and Simulation where rotational speed is the controlled variable," IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 40, No. 1, Jan.-Feb. 2004, pp. 3-10.
12. R. Datta, V. T. Ranganathan, "Direct power control of grid-connected wound rotor induction machine without rotor position sensors," IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 16, No. 3, May 2001, pp. 390-399.
13. L. Wang, C. H. Lee, "Long-shunt and short-shunt connections on dynamic performance of a SEIG feeding an induction motor load" IEEE Trans. Energy Conversion, Vo. 15, No. 1 , March 2000, pp. 1-7.
14. A. Grauers, "Efficiency of three wind energy generator systems," IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 11, No. 3, Sept. 1996, pp. 650-657.
15. R. S. Kemerer and L. E. Berkebile, "Directly Connected Static VAR Compensation in Distribution System Applications," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No. 1, 1999, pp. 176-182.
16. N. Garcia and A. Medina, "Fast Periodic Steady State Solution of Systems Containing Thyristor Switched Capacitors," IEEE PESC, 2000, pp. 1127-1132.
17. B. Lockley and G. Philpott, "Static VAR Compensators, A Solution to the Big Motor/Weak System Problem," IEEE IAS, 2000, pp. 307-313.
18. C. Wang, T. C. Cheng, G. Zheng, Y. D. L. Mu, B. Palk and M. Moon, "Failure Analysis of Composite Dielectric of Power Capacitors in Distribution Systems," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.5 No.4, August 1998, pp.583-588.
19. A. H. Moore, " Application of Power Capacitors to Electrochemical Rectifier Systems," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.IA-13, No.5, September/October 1977, pp.399-406
20. M. Bishop, T. Day and A. Chaudhary, " A Primer on Capacitor Bank Protection," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 37, No. 4, 2001, pp.1174-1179..
21. L. Xu, V. G. Agelidis and E. Acha, "Development Considerations of DSP-Controlled PWM VSC-based STATCOM," IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 148, No. 3, 2001, pp.449-455.
22. W. Mohan, T. M. Vndeland and W. P. Robbins, Power Electronics: Converter Applications and Design, John Wiely and Sons , New York , 1989.

表 1 硬體雛形之電路參數

直流電壓	200V	濾波電感	2mH
切換頻率	20KHz	儲能電容	4700 $\mu F$
電源電壓	220V	交流電容	30 $\mu F$

表 2 轉速-實功率-虛功率-功率因數對照表

轉速 rpm	1816	1832	1847	1867	1890
實功 kw	100	140	180	250	320
虛功 kvar	200	330	347	450	570

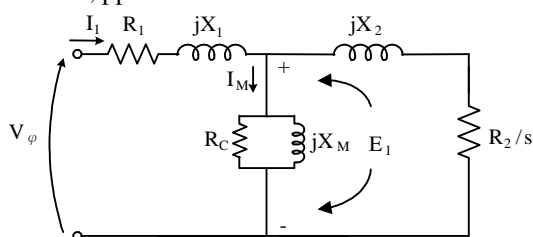


圖 1 感應電動機的單相等效電路。

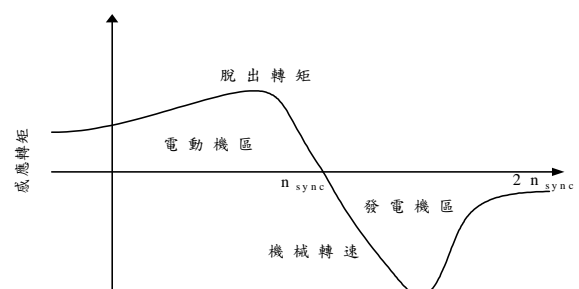


圖 2 感應電機轉矩-速度特性曲線。

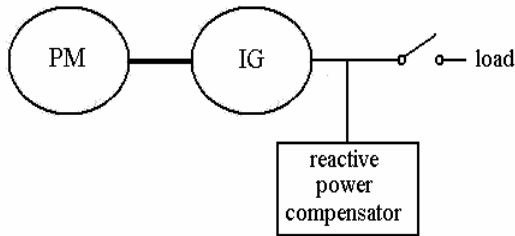
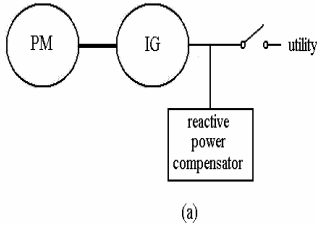
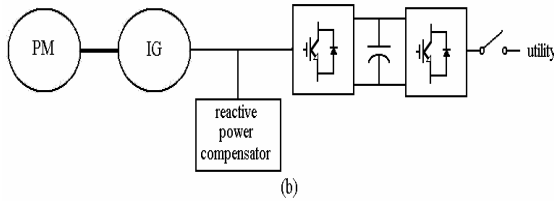


圖 3 獨立自激式感應發電機之系統架構。



(a)



(b)

圖 4 市電並聯型感應發電機，(a)直接並聯型，(b)雙轉換器並聯型。

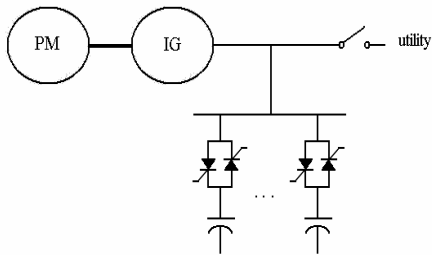


圖 5 TSC 作為感應發電機之虛功補償系統。

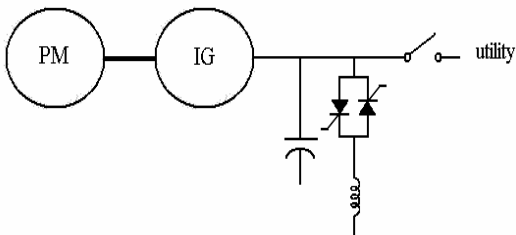


圖 6 FC-TCR 作為感應發電機之虛功補償系統。

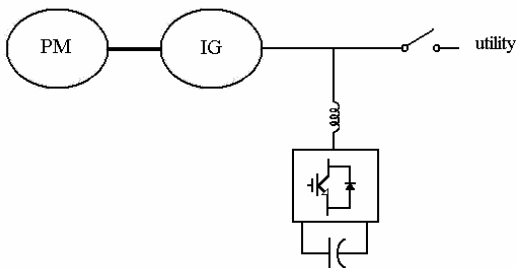


圖 7 電力轉換器作為感應發電機之虛功補償系統。

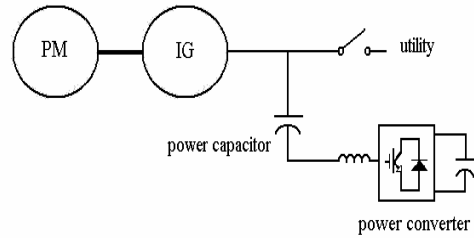


圖 8 混合式虛功系統作為感應發電機之電力轉換器之虛功補償系統。

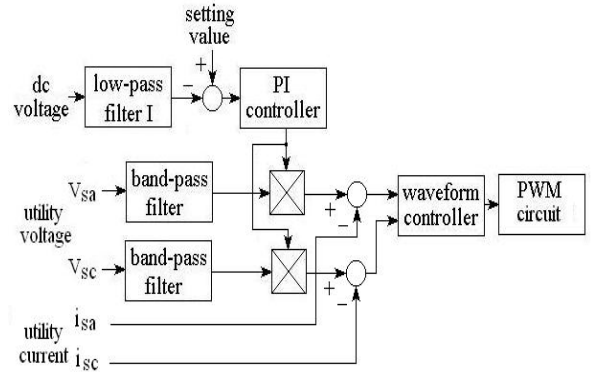


圖 9 虛功系統補償系統電力轉換器之控制方塊。

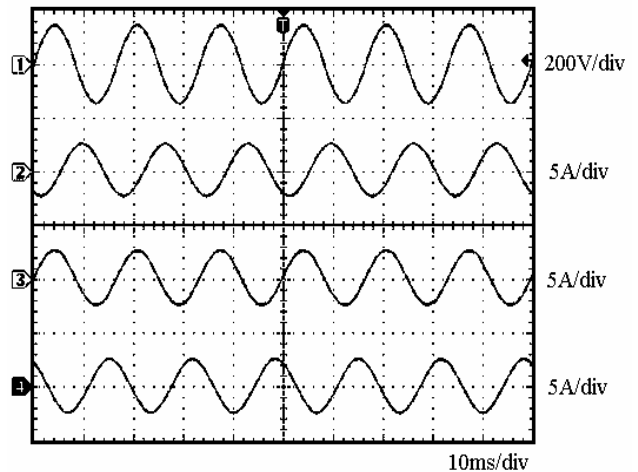


圖 10 感應發電機在發電量實功率 300w 時，未加任何補償系統之波形圖 (a) R 相電壓 (b) R 相電流 (c) S 相電流 (d) T 相電流。

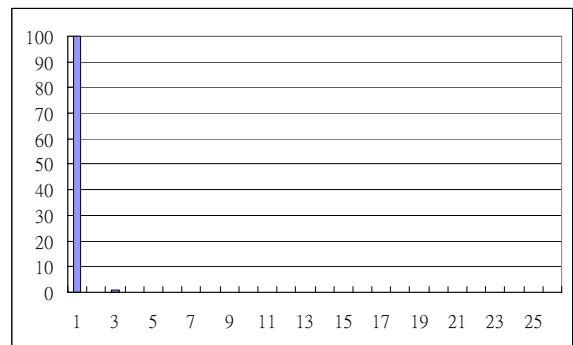


圖 11 感應發電機在發電量實功率 300w 時，未加任何補償系統 R 相電流之頻譜圖。

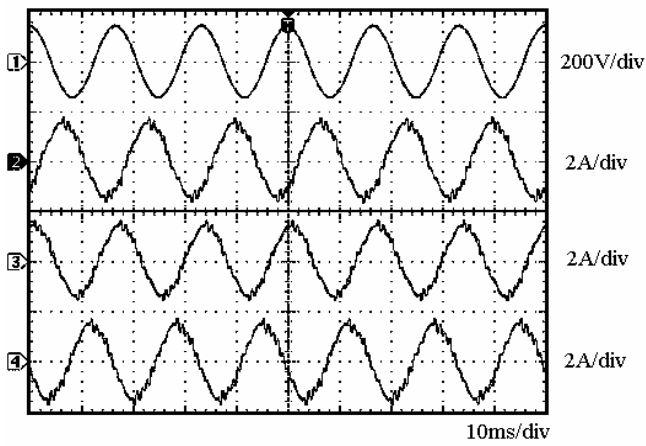


圖 12 感應發電機在發電量實功率 300w 時，只加固態電容組之波型圖 (a) R 相電壓 (b) R 相電流 (c) S 相電流 (d) T 相電流。

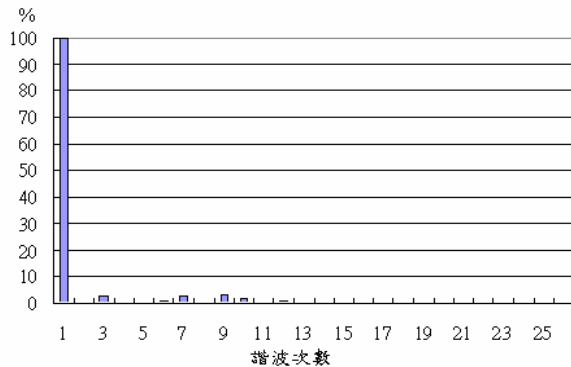


圖 13 感應發電機在發電量實功率 300w 時，只加固態電容組之 R 相電流品頻譜圖。

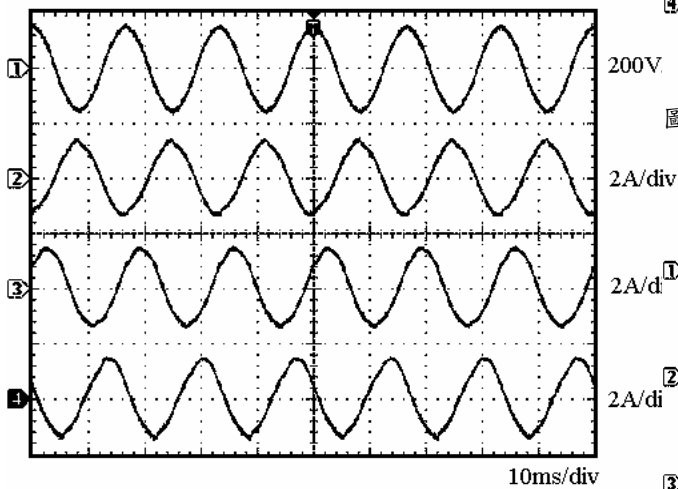


圖 14 感應發電機在發電量實功率 300w 時，加虛功補償系統之波型圖 (a) R 相電壓 (b) R 相電流 (c) S 相電流 (d) T 相電流。

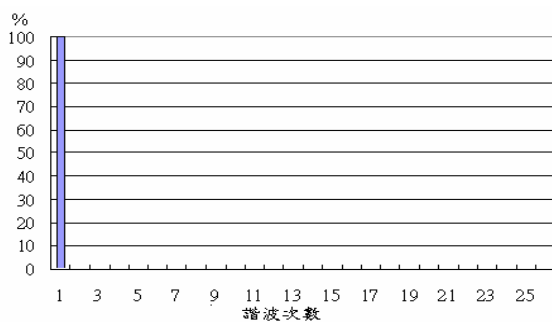


圖 15 感應發電機在發電量實功率 300w 時，加虛功補償系統 R 相電流之頻譜圖。

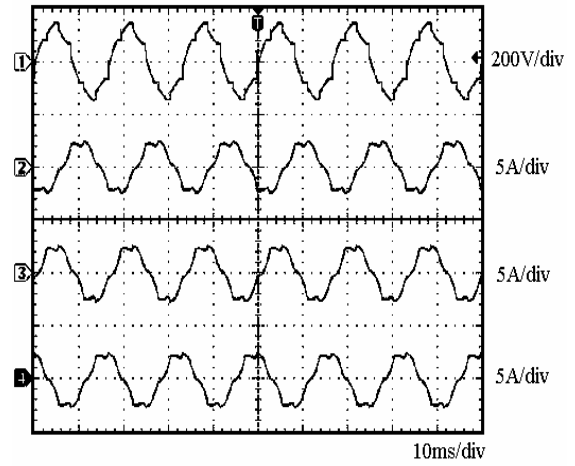


圖 16 感應發電機在未加任何補償系統且含電壓失真之波型圖 (a) R 相電壓 (b) R 相電流 (c) S 相電流 (d) T 相電流。

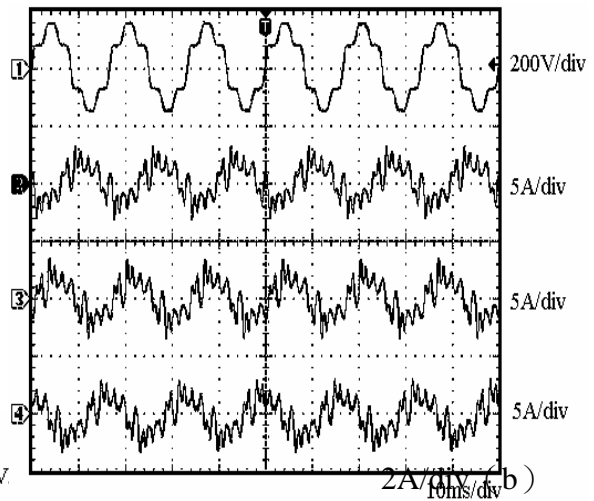


圖 17 感應發電機在只加固態電容組且含電壓失真之波型圖 (a) R 相電壓 (b) R 相電流 (c) S 相電流 (d) T 相電流。

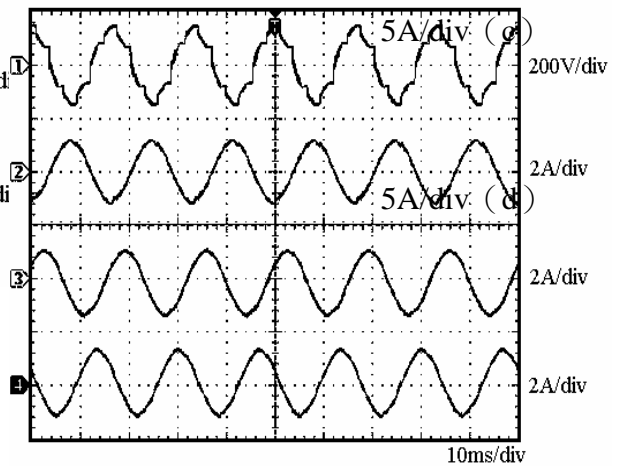


圖 18 感應發電機在加入虛功補償系統且含電壓失真之波型圖 (a) R 相電壓 (b) R 相電流 (c) S 相電流 (d) T 相電流。

# 可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：\_\_年\_\_月\_\_日

<b>國科會補助計畫</b>	計畫名稱：改善負載端電力品質之主動式電力調節器 計畫主持人： 吳晉昌 計畫編號：NSC 93-2213-E-168-015 學門領域：電力工程(EL)
<b>技術/創作名稱</b>	主動式電力調節器
<b>發明人/創作人</b>	吳晉昌
<b>技術說明</b>	中文： 本計劃發展一並聯式主動電力調節器用以改善負載端的電力品質，以維持這些精密儀器設備之正常運轉。該主動式電力調節器之架構僅由一電力轉換器、一連結電感及一蓄電池組組成，電力轉換器用以提供一高品質的電壓供給負載，連結電感用以阻隔來自配電系統不良電力品質之干擾，蓄電池組用以儲存備用電力，本計劃所提之主動式電力調節器可以有效解決負載設備之電力品質問題，提升負載設備之可靠度，並能作為蓄電池、太陽能電池及燃料電池等之配電系統介面。 英文： The project is to develop a shunt active power conditioner for electric power quality improvement in the load side to advance the reliability of precise equipment. In the proposed active power conditioner, only a power converter is used to supply a high quality voltage to the load. A link inductor is inserted between the mains and the power converter to block the power disturbance from the mains, and a battery set is placed at the dc side of power converter to supply the back-up power. Hence, the proposed active power conditioner can solve the problems of power quality. Moreover, the proposed active power conditioner can be operated as a power conversion interface between the battery set, solar cell, fuel cell and the utility.
<b>可利用之產業及可開發之產品</b>	可利用之產業：電機設備產業 可開發之產品：主動電力調節器
<b>技術特點</b>	主動電力調節器 蓄電池、太陽能電池及燃料電池等之配電系統介面
<b>推廣及運用的價值</b>	1. 可以有效解決負載設備之電力品質問題，提升負載設備之可靠度。 2. 能作為蓄電池、太陽能電池及燃料電池等之配電系統介面。

※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。