

小型風力發電系統併入市電運轉之研製

Design and Implementation of Grid-Connected Operation with Small Wind Power System

蔡明村
Ming-Tsung Tsai

吳俊樺
Jyun- Hua Wu
南台科技大學 電機工程學系
台灣 台南縣
Department of Electrical Engineering
Southern Taiwan University
Tainan, TAIWAN.
mttsai@mail.stut.edu.tw

朱慶隆
Ching-Lung Chu

摘要

本文旨在研製一具有市電併聯功能之小型風力發電系統。首先利用交流/直流轉換器將風力發電機輸出的三相電壓轉換為一穩定的直流電壓，再以一直流/直流轉換器來提升電壓，再經由直流/交流轉換器把電能注入市電。風力發電機因受到外在風速等影響，而造成其最大功率點的飄移。因此本文利用一最大功率追蹤技術，其只需調整直流/交流的輸出電流命令，並迴授發電機端的輸出電壓，即可達到最大功率追蹤之目的[1]。當風力發電併入市電運轉時，除了直流/交流轉換設備需注意與市電同步運轉外，孤島偵測技術也極為重要。本文提出一改良型滑動模式頻率變化法，做為孤島現象之主動式偵測方法。

關鍵詞：市電併聯、最大功率追蹤、孤島偵測。

Abstract

This paper discussed a small wind generator system which can connect with Grid-Operation. First, we used a rectified converter to transfer the wind generator's three phase output voltage to a steady DC voltage. A DC-DC converter step up voltage, and inject it to Grid by DC-AC converter. The wind generator's maximum power points drift by external effects of wind. This paper proposed a technique of maximum power points tracking. It is adjusting the input current command of DC-AC converter and feedback of generator's output voltage to achieve this technique. When the wind generator connected to the Grid operation, even the DC-AC converter need to pay attention to synchronous operation to Grid, and the islanding detection is important. This paper proposed an improved method (Slip Mode Frequency Shift, SMS) to detect islanding phenomenon.

Keywords: grid-connected, maximum power points tracking, islanding detection

I. 前言

為了減少對石化能源的依賴與二氧化碳的排放

量，世界各國都積極尋找替代能源，其中具有安全無污染以及取之不竭、用之不盡的再生能源於近年來已成為重要的研究課題。再生能源主要以太陽能、風能、水力、潮汐能、生質能以及地熱等天然資源作為發電的來源，由於容易受到地理環境的差異和氣候變化等不可控制因素影響，導致發電量有所不同，導致穩定性大受影響。綜觀以上各種再生能源，其中風力發電之成本是目前上述各種再生能源中最具有競爭力，其市占率逐年增高，因此受到相當大的重視[2]。

在大自然中的風速並非固定，如風力的大小、強弱及風速快慢等因素影響，因此風力發電機的輸出功率也會隨風速的變化而改變。理論上風力發電機在各種不同風速下都有一最大功率點，為了能讓風力發電機運作在此最大功率點，必須在風力發電系統的功率轉換器作適當的控制，使風力發電機能在不同的風速下得到最大的輸出功率。

當風力發電併入市電運轉時，避免孤島運轉極為重要。所謂孤島運轉是指分散式電源於市電故障時，分散式電源仍然持續運轉供電的情形，此時若不立即切離，會使得人員安全和系統設備受到威脅。

本文以數位處理器(DSP TM320LF2407A)作為控制核心。在最大功率追蹤方面，藉由改變直流/交流轉換器的輸出電流命令，並觀察交流/直流轉換器輸出電壓後，以用來調整下次直流/交流轉換器輸出電流命令大小的依據。在孤島偵測方面，主要是在直流-交流轉換器中加入微量的電壓、頻率、相位擾動訊號；當與市電正常併聯時，擾動訊號對於系統干擾有限；而當孤島現象發生時，微量擾動訊號則可以破壞轉換器和負載的平衡狀態，達到孤島偵測的目的。

II. 系統架構

本文所研製的小型風力發電併入市電運轉系統主要可分為風力發電機、交流/直流轉換器、直流/直流轉換器、直流/交流轉換器、最大功率追蹤及孤島偵測六大部分，整體系統架構如圖 1 所示。

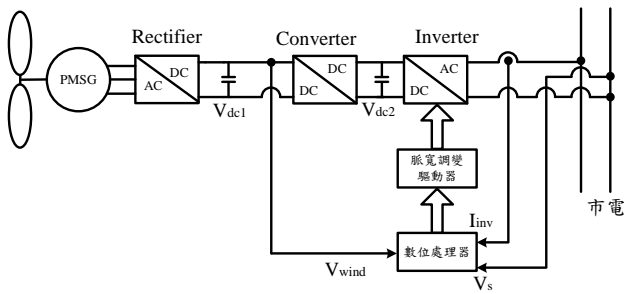


圖 1 小型風力發電整體系統

(a) 交流/直流轉換器

利用三顆整流二極體和三顆功率開關來取代傳統三相橋式整流，電路架構如圖 2 所示。此架構可以改善傳統三相橋式整流低輸入功率因數及大量電流諧波含量，並經由電壓迴路控制功率開關，可得到一穩定的直流鏈電壓[3]。控制策略如圖 3 所示，迴授輸出電壓，經過分壓隔離器處理後與所設定參考電壓相減產生一誤差訊號，再經由 PI 補償器送至 PWM 控制器，以控制功率開關的導通-截止時間，達到輸出穩壓的目的。

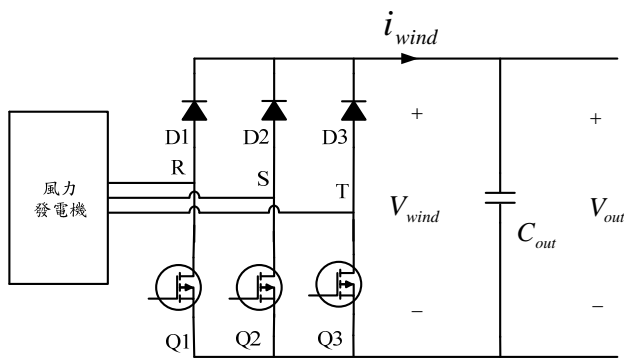


圖 2 交流/直流轉換器電路

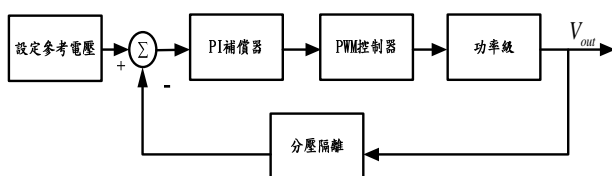


圖 3 交流/直流轉換器控制方塊圖

(b) 直流/直流轉換器

本文將交流/直流轉換器的輸出電壓設定為 24V，電壓準位無法供給變流器將風力發電機輸出電能注入市電，所以必須加一級升壓電路將 24V 低壓直流升至 180V 以上高壓直流，再經由變流器轉換成交流電壓把

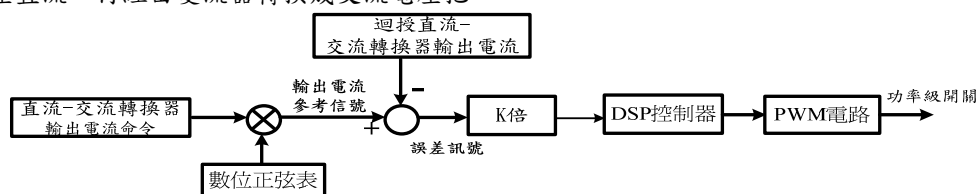


圖 5 直流-交流轉換器控制方塊圖

電能注入市電。推挽式升壓電路的驅動訊號可與功率開關共地，且電路設計簡單，所以本系統採用推挽式架構作為直流/直流轉換器，電路架構如圖 4 所示[4]。

(c) 直流/交流轉換器

本系統使用單相全橋變流器作為直流/交流轉換器，電路架構如圖 6 所示。此架構優點為輸出開關電流為半橋式的一半及不會有半橋式輸出直流偏壓的問題[5]。控制策略如圖 5 所示，在數位處理器中建立一數位正弦波表，並與設定的直流/交流轉換器的輸出電流命令相乘後，作為直流/交流轉換器的輸出電流參考訊號，再將此電流參考訊號與迴授直流/交流轉換器的輸出電流訊號相減後，得到一誤差訊號，經由 K 倍增益放大與 DSP 控制器後送至 PWM 控制器來控制功率開關切換。

(d) 最大功率追蹤控制策略

本文所使用的最大功率追蹤方法主要原理是經由改變直流/交流轉換器的輸出電流，並觀察交流/直流轉換器的輸出直流電壓變化情形，作為調整直流/交流轉換器輸出電流命令的依據。將直流/交流轉換器輸出電流命令增大，迴授交流/直流轉換器輸出電壓，若交流/直流轉換器輸出電壓能夠維持穩壓，則表示還未達到最大功率點，此時必須繼續增大直流/交流轉換器輸出電流命令；若交流/直流轉換器輸出電壓未能維持穩壓，則表示直流/交流轉換器輸出電流命令過大，此時必須減少直流/交流轉換器輸出電流命令，最後直流/交流轉換器輸出電流命令會在最大功率點來回調整，控制流程如圖 7 所示。

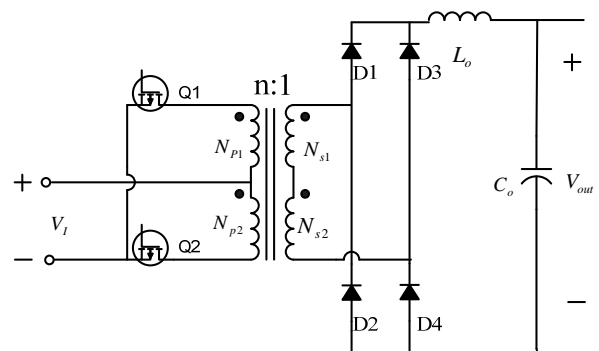


圖 4 直流/直流轉換器電路

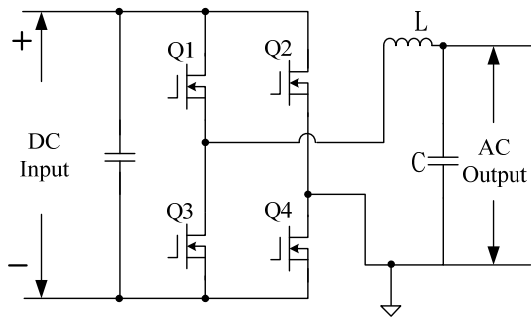


圖 6 直流/交流轉換器電路

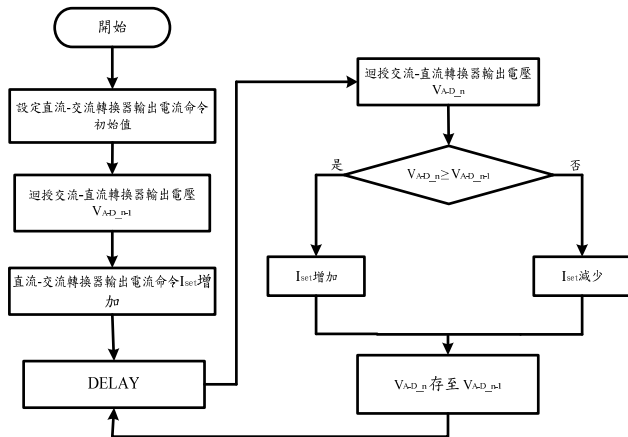


圖 7 最大功率追蹤流程圖

(e) 孤島偵測技術

傳統滑動式頻率改變(SMS)偵測技術[6]主要利用改變變流器輸出電流頻率，以式(1)表示，同時輸出電流起始相位腳也跟著改變；利用此種方法增加相位誤差量，迫使系統超越低/過頻率保護之門檻值，來偵測孤島現象發生，其中相角增量大小以式(2)表示。不過傳統 SMS 偵測技術有著當系統操作於穩態操作點時，其相位差 ≈ 0 ，此時相角增量大小 ≈ 0 ，因而造成不可偵測區域發生的缺點。

$$i_g = \sqrt{2}I \sin(2\pi f_{ng-1} + \theta_{SMS}) \quad (1)$$

$$\theta_{SMS} = \theta_m \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_t - f_g}{f_m}\right] \quad (2)$$

其式中

i_g ：輸出電流頻率， θ_{SMS} ：相角增量大小， f_t ：系統頻率， f_g ：穩態時之系統頻率， θ_m ：最大相移量， f_m ：最大頻率變化量。

為了避開此不可偵測情況發生，本系統使用非線性滑動式頻率偵測技術，作為孤島偵測方法。此方法主要利用變頻技術取代傳統定頻滑動式頻率偵測技術改變起始角的方式。此方法每次加入微量的相位移 θ_a 做為擾動量，如式(3)所示，並對應頻率增量大小，其中頻

率與相角變化量的關係，如式(4)所示，利用此方法來避開系統操作於穩態操作點時不可偵測的情況。

$$\theta_{SMS} = \theta_m \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_t - f_g}{f_m}\right] + \theta_a \quad (3)$$

$$f_{SMS} = \frac{\theta_{SMS}}{360^\circ} \cdot f_g \quad (4)$$

其式中

f_{SMS} ：頻率增量大小， θ_a ：相位移。

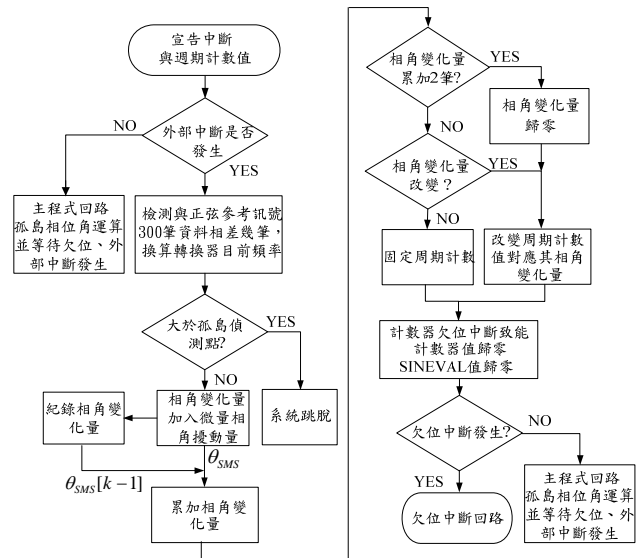


圖 8 非線性滑動頻率偵測技術程式流程圖

控制方法主要撰寫於外部中斷迴路和主程式迴路中，圖 8 為非線性滑動頻率偵測技術程式流程圖。當市電正常併聯時，利用零點偵測電路，偵測市電網路的零交越點，再以數位訊號處理器控制變流器輸出電流相位參考準位，產生與市電網路同相之弦波參考值；但是一旦市電網路斷開，零交越點則改由輸出負載和變流器輸出電流決定；因此於外部中斷發生同時，必須先判斷變流器輸出電壓相位和市電網路 300 筆資料相位差距大小，並將其差距來換算求得目前變流器之頻率。

本文孤島相位角運算主要撰寫於數位訊號處理器之主程式迴路中，利用式(3)求得所對應之相角變化量；並於外部中斷迴路中加入微量的相角擾動量，來避開操作於穩態操作點時無法偵測區域發生。最後為了加速孤島現象發生時能迅速滑動至孤島偵測點，讓系統跳脫；本文於外部中斷迴路中利用相角變化量累加幾次的方式來加速非線性 SMS 偵測速度。

III. 實驗結果

為了驗證本文系統的可行性，將實作一小型風力發電機併入市電運轉之系統，並透過一實際風力發電機來進行實測。不過因風場建立不易，造成實驗的不方便性，所以利用如圖 9 的模擬風場系統，以模擬風力帶動

