

35. 微型水力發電系統之研製

王體教授 李東璟、陳龍億、余俊穎、陳恕增
國立成功大學 電機系輸電系統研究室

計畫案特色

本計畫之主要目標在於評估及實現如何將台灣地區可利用的農業用水、回歸水、地下水、農塘等用多重用水等資源，以加裝簡單、低成本、小容量、含水力驅動葉片之發電機裝置，轉換為有效的電能資源，回送至農用電力低電壓配電系統或將電能加以儲存或提供偏遠農地所需照明等，達到有效充份利用全台灣地區之微水力資源，達成節省農用電能及開發偏遠農地電氣照明的多重功效。

本計畫利用雲林農田水利會農業灌溉溝渠之灌溉用水，同時驅動兩台獨立自激式感應發電機並聯運轉發電，並經由電力轉換器轉換為穩定的交流單相110 V、60 Hz之電源提供3 kW負載使用。整個微水力發電系統包含16個葉片的水渦輪機、齒輪箱、兩台感應發電機、兩套交流-直流整流器與兩套直流-交流換流器，該發電系統整體設備均由國內自製，亦使用國立成功大學電機系輸電系統研究室自行開發完成之嵌入式即時監控系統完成整個微水力發電系統之電氣量監測。

當水渦輪機之轉速受灌溉用水之影響而發生變動時，該微水力發電系統可利用齒輪箱之變速機構、自激電容器組之切換以及電力轉換器之協助，達到穩定發電運轉的目標。本計畫經由發電系統負載端之加載與卸載測試，可顯現出整個微水力發電系統穩定堅固的機械結構，可承受劇烈變動的水流波動和隨機的水流量。

本計畫之微水力發電系統所產生之電能，除可提供整個發電系統內部電路之用電外，亦可提供裝設於渠道兩邊照明之LED燈具，以同時達到善加利用水資源進行發電以及節能應用之雙重目標。

(一)微水力發電系統之架構介紹

本計畫所使用之水渦輪機(或水車)是根據裝機地點渠道之水流速、寬度、高度、流量等因素，委託台中市山海線藝術造景公司建造而成，而整個裝機地點與水渦輪機尺寸示意圖如圖1所示。

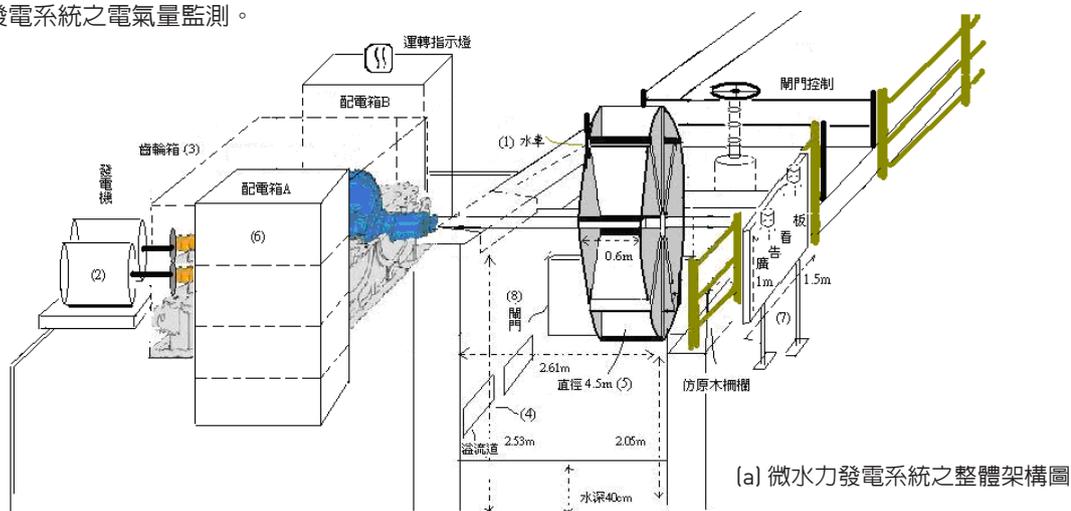


圖1 微力發電系統整體架構與裝機照片圖

如圖2所示，為本計畫所研究之微水力發電系統由機械能轉換為電能之架構示意圖，圖中水流衝擊水渦輪機葉片後帶動水渦輪機以低速運轉，低速的水渦輪機連接單輸入雙輸出之齒輪箱後產生高速旋轉，齒輪箱之雙輸出同時驅動兩台感應發電機組之轉子做高速旋轉，感應發電機組定子繞組端需要連接三相自激電容器組來幫

助發電機自激以建立電壓，發電機建立電壓後再利用三相二極體整流器轉換成脈動的直流電，該直流電經降壓型整流器後穩定在24 V直流電壓，該穩定的24 V直流電壓可向蓄電池充電或經由單相直流對交流換流器轉換成穩定之單相、110 V、60 Hz之交流電源提供給單相交流負載所需之能量。

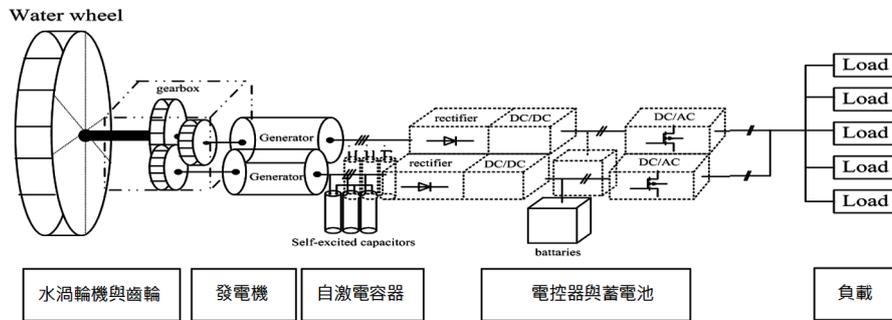
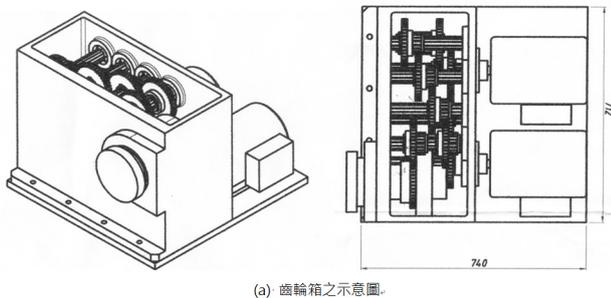


圖2 微水力發電系統之架構圖

如圖3所示為本計畫所使用齒輪箱示意圖與照片，其齒輪轉換比(transmission ratio)為1:150，其架構為單軸輸入，雙軸輸出之架構，單軸之輸入端由水渦輪機帶動且經由齒輪箱變比，將水渦輪機之轉速提高，經由輸出之雙軸來帶動兩台感應發電機運轉。

本計畫所採用的電控設備照片如圖4所示，主要分為四個部份：(1)自激電容器組，主要幫助感應發電機自激發電以建立電壓；(2)三相二極體橋式全波整流器，主要將感應發電機輸出之交流電轉換成直流電源；(3)直流對直流降壓型轉換器(DC-to-DC buck converter)，主要功能為將三相二極體整流器輸出之變動直流電壓穩定在24 V直流電壓並對蓄電池充電；(4)單相直流對交流換流器(DC-to-AC inverter)，其功能在於將降壓型轉換器輸出之24 V轉換成穩定之單相、110 V、60 Hz之交流電源提供給單相負載所需之電能。



(a) 齒輪箱之示意圖。



(b) 齒輪箱之照片。

圖3 本計畫齒輪箱之示意圖與照片

(二)穩態特性量測及結果分析

現場實際測試條件為水流量為3.0 C.M.S.，並於不同開門開度之下兩台發電機之電氣量，經由改變六段之開門開度，使得發電機轉速分別為1100、1150、1200、1250、1300、1350 RPM，分別記錄各項電氣量數據。此時將現場之廣告負載與電錶全部關掉，並將負載分別固定為500W(總功率1000W)，並量測記錄電氣量之結果如表1所列。

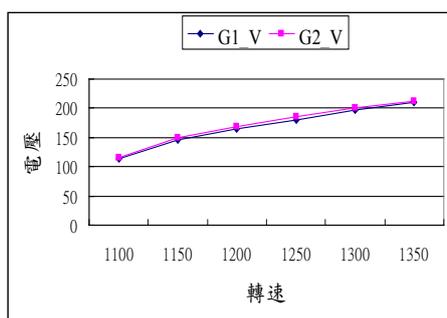
根據表1所列之結果得知，當負載固定下隨著開門開度愈高則發電機轉速、電壓與虛功也會跟著增加，因此發電機輸出功因會降低。由於兩台發電機之負載量相同，故兩台發電機所產生之功率約略相同。而由表1所列之結果，可將發電機之各電氣量繪製成如圖5所示之穩態特性曲線。



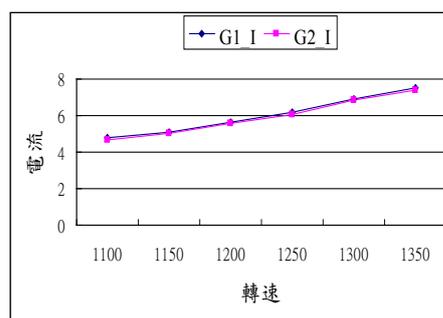
圖4 本計畫之電控設備機組照片

表1 不同轉速下兩台感應發電機之電氣量(水流量為3.0 C.M.S.)

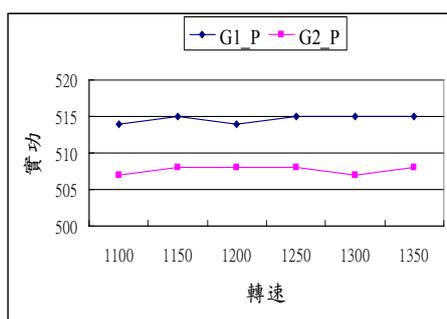
1號發電機						
轉速 (RPM)	電壓 (V)	電流 (A)	實功 (W)	虛功 (VAR)	功因 (lagging)	頻率 (Hz)
1100	114	4.78	514	119.7	0.97	36.6
1150	146	5.11	515	205.3	0.92	38.3
1200	165	5.64	514	273.6	0.88	40
1250	180	6.17	515	339.2	0.83	41.67
1300	197	6.89	515	422.6	0.77	43.3
1350	210	7.49	515	498.7	0.71	45
2號發電機						
1100	116	4.65	507	124.0	0.97	36.6
1150	150	5.02	508	216.7	0.91	38.3
1200	168	5.56	508	283.7	0.87	40
1250	185	6.09	508	358.4	0.81	41.6
1300	200	6.83	507	435.6	0.75	43.3
1350	213	7.4	508	513.1	0.70	45



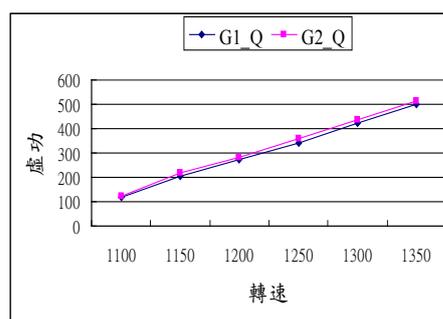
(a)發電機輸出電壓



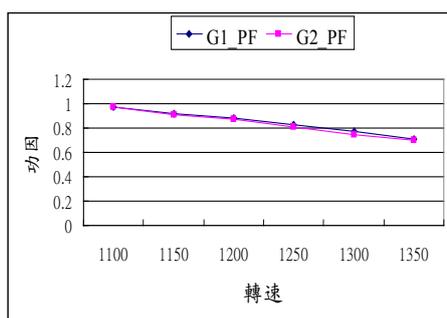
(b)發電機輸出電流



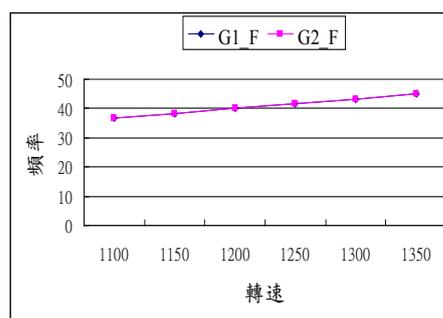
(c)發電機輸出實功



(d)發電機輸出虛功



(e)發電機輸出功因



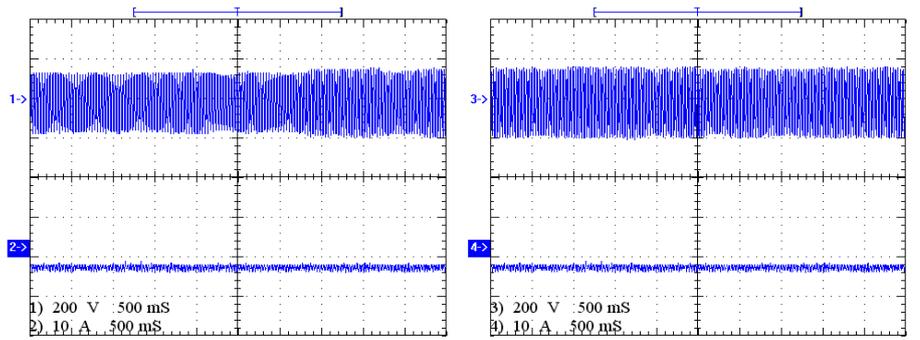
(f)發電機輸出頻率

圖5兩部感應發電機在不同轉速下之各電氣量穩態特性曲線(水流量為3.0 C.M.S.)

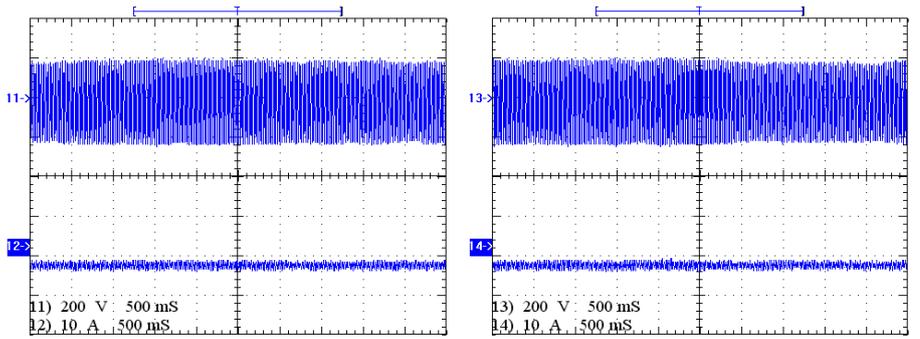
(三)動態特性量測及結果分析

對於不同閘門開度改變下導致發電機轉速分別為 950、1050、1150與1250 RPM下之無載發電機電壓波形進行量測與分析，此時固定自激電容值為125 μ F。如圖 6(a)所示為轉速於950 RPM下之發電電壓實測波形，此時1號發電機之電壓約為135.6 V，而2號發電機之電壓約為132.2 V。如圖6(b)所示分別為轉速於1050 RPM下之發電機電壓實測波形，此時1號發電機之電壓約為148.6 V，

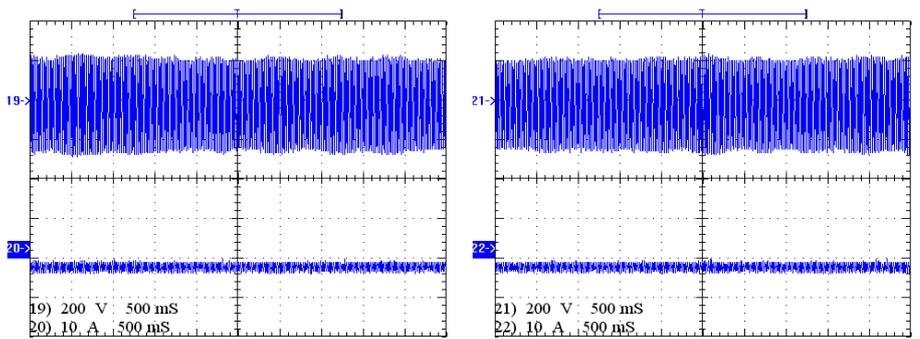
而2號發電機之電壓約為148.1 V。如圖6(c)所示為轉速於1150 RPM下之發電機電壓實測波形，此時1號發電機之電壓約為170.4 V，而2號發電機之電壓約為167 V。如圖 6(d)所示為轉速於1250 RPM下之發電機電壓實測波形，此時1號發電機之電壓約為180.5 V，而2號發電機之電壓約為184.6 V。故由圖6之量測結果可以得知，當水流速度越快時，將使發電機之轉速越高，進而使得發電機輸出電壓值也越大。



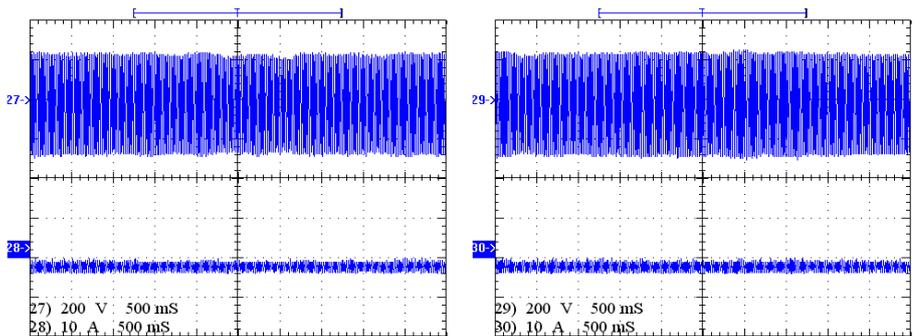
(Y-axis: 200 V/div., X-axis: 500 ms/div.) (Y-axis: 10A/div., X-axis: 500 m s/div.) [a]轉速950 RPM



(Y-axis: 200 V/div., X-axis: 500 ms/div.) (Y-axis: 10A/div., X-axis: 500 m s/div.) [b]轉速1050 RPM



(Y-axis: 200 V/div., X-axis: 500 ms/div.) (Y-axis: 10A/div., X-axis: 500 m s/div.) [c]轉速1150 RPM



(Y-axis: 200 V/div., X-axis: 500 ms/div.) (Y-axis: 10A/div., X-axis: 500 m s/div.) [d]轉速1250 RPM

圖6 感應發電機於不同轉速於下之電壓實測波形

研究成果對企業界或學術界的效益

本計畫截至目前為止，已完成一套3-kW容量之微水力發電機組的安裝，並將整個系統裝置包含水輪渦機、齒輪箱、雙部感應發電機、電控系統與監控設備完成整體測試，並量測完整的電氣穩態數據及動態波形。此為由學術界的理論結合產業界的合作共同研究的成果，亦為國內學術界所完成第一套3 kW微水力發電系統雙機並聯連轉的架構。

在本計畫中採用嵌入式監控系統結合電力表頭讀取重要的系統數據，包括發電機轉速、電壓、電流、功率與頻率等電氣量，並於現場裝設LED照明燈具與廣告看板等電氣負載，以突顯實際應用微水力系統輸出之電能。

本計畫對未來農田水利會於不同渠道下規畫出所適合安裝的水渦輪機與發電機組之安裝，或是設計新型並可模組化的發電系統，均利於微水力發電系統之推廣，並吸引更多業者投資該綠色產業。