

教育部顧問室  
工業節能科技人才培育資源中心計畫  
—2013 工業節能科技創意實作競賽

作品計畫書

作品名稱	結合混合式太陽光伏系統與微電網控制技術之綠能空調系統	收件編號	(主辦單位填寫)
<b>創作動機與目的</b>			
<p>面對氣候變遷帶來的嚴峻考驗，全球已開發國家已設下目標將於 2050 至 2060 年間，逐步達成溫室氣體零排放的目標，至於開發中國家，也希望能於 2020 年達成溫室氣體排放零成長的目標，因此發展再生能源科技與提倡節能減碳已成為世界各國積極推動的方向。其中，太陽能科技近年來在世界各國提倡下已有相當大的進展，太陽光發電效率突破 40% 技術上已可達成(如圖 1 說明)，此外，在歐、美、日、中等國的政府獎勵與補助措施下，太陽能發電的規模已大幅成長，2012 年德國便創下太陽光瞬間發電量 21.4GWatt 的世界紀錄。然而，太陽能屬於間歇性能源，瞬間高發電量將造成電網的衝擊，不利於電網的穩定，故需要朝向分散式之微電網發展，並透過儲能系統與智慧電網控制技術以達成就地發電就地使用，多餘電力才回售電網或儲電，如此方能減低太陽光發電對於電網的衝擊，以達成穩定供電之目標。<u>台大新能源中心</u>所開發之「混合式太陽光伏系統」即為此一兼具太陽光發電、儲電與供電之系統，並可與電網進行單/雙向電力傳輸，本創作之核心技術與此一系統密切相關。</p> <p>本創作之原始動機為利用混合式太陽光伏系統開發電動車使用之低耗能空調系統，以解決電動車所面臨之空調系統高耗能問題，其設計理念來自於台大新能源中心所開發之「零能屋(ZEH)」(如圖 2 與圖 3 之說明)，亦即先透過主/被動省能技術降低耗能，再使用太陽能/再生能源以達成零耗能之目標。本創作整合了前述 ZEH 主動式省能及再生能源技術，包含太陽能直驅冷氣與混合式太陽能充電技術，並融入智慧微電網控制概念，將電動車高壓主電池系統視為外部電網與混合式太陽光系統所屬之儲能系統進行整合。</p> <p>本作品將使用包括本實驗室之電動休旅車及電動巴士為平台進行實驗，除了針對太陽能空調系統應用於電動車之性能進行評估，並可利用此一平台模擬、測試智慧微電網之控制策略，故本創作所開發之實驗平台將可用於研究太陽能空調系統與智慧微電網控制技術之雙重目的。</p>			
<b>前言</b>			
<p>近年來各國紛紛提倡節能減碳與綠能科技，電動車被視為下一代綠能運輸工具的主要選擇之一，目前許多國家已有商用電動車販售或進行試營運計畫當中，我國也不例外。然而，目前電動車的(鋰)電池能量密度仍有限且價格昂貴，故純電動車之續航力與價格問</p>			

題造成電動車普及化不易。根據實際電動車之測試，若是在夏季使用冷氣，則冷氣空調系統耗能將佔全車總耗能三成以上，大幅降低電動車之續航力，為此，電動車之空調系統高耗能仍是相當棘手的問題。本創作即著眼於此問題，期能透過主/被動空調省能技術及使用太陽能發電與儲能技術以克服此問題。然而，太陽輻射量不穩定是此類太陽能空調系統首要面臨的挑戰，特別是電動車所使用的太陽光發電系統必須在移動狀態下運作，太陽光遭遮蔽所造成的系統干擾問題必須解決；此外，如何使用太陽能電池提供冷氣壓縮機啟動所需之大電流也是必須解決的技術問題。本創作藉由結合混合式太陽光伏系統與微電網控制技術及系統匹配設計以克服上述困難，開發出一套可供電動車使用之綠能空調系統。

## 作品特色

本作品為一套可供電動車使用之混合式太陽能空調系統，此系統於太陽光充足時可利用太陽能電池所提供之電力驅動冷氣機，太陽光微弱時發電量雖小，但是使用冷氣機的機會較少，倘若仍需要冷氣，則可使用本系統的鋰電池供電，此鋰電池另外扮演著太陽能電池與冷氣機之間的緩衝作用，可於太陽能板受遮蔽時提供電力給冷氣機，並提供壓縮機啟動時所需之大電流。由於扮演緩衝作用的鋰電池儲電量有限，故將此鋰電池與一般車輛所屬的低壓電瓶(12V)相連接，該電池則可由電動車主電瓶(高壓)持續供電，以維持足夠電量，冷氣系統的鋰電池則可於電壓不足時向此低壓電瓶「借電」，待太陽光充足時則可將太陽能電池所產生多餘未用完的電力回充至冷氣系統鋰電池與車輛低壓電瓶，例如：當白天車輛熄火後但是仍有日照時，便可將太陽電池所產生的電力回充「歸還」至此低壓電瓶，如此將可進一步提升此套綠能空調系統之能源替代率。本系統不僅可降低電動車空調耗能，有效減緩電動車目前所面臨之電池容量有限所導致的行駛里程不足問題，亦可將此太陽能冷氣空調系統應用於智慧綠能建築之開發使用。

## 作品可行分析

本太陽能冷氣空調系統之可行性業已經過實際之運轉測試與分析，其技術特點說明如下：

1. 本系統使用台大新能源中心開發之 nMPPO (near Maximum Power Point Operation) 太陽光發電控制技術，可減少傳統 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 控制器之硬體成本及損耗所可能造成的系統不穩定性，nMPPO 技術已經過新能源中心多年的實驗驗證，其發電效率可達 MPPT 之理論最佳值；
2. 透過電力電子控制技術，並利用鋰電池輔助太陽電池以提供冷氣系統壓縮機啟動所需之大電流(可高達 100 安培)，當太陽光發電量充足時，可直接以太陽光發電驅動冷氣機運轉，並將多餘的電能儲存在鋰電池，當太陽光發電量不足時，可以鋰電池輔助供電給冷氣機，以確保冷氣系統可在太陽光發電量擾動情形下亦能平順地運轉；

3. 為了延長冷氣機在太陽光發電量不足或不穩定下之運轉時間與提升系統可靠度，本系統可利用現有車用鉛酸電池(低壓作為額外的供電來源，該鉛酸電池可由電動車之動力電池(高壓)保持其電壓維持在一穩定範圍內，除可在鋰電池(低壓)電量不足時輔助供電給冷氣機使用，亦可與鋰電池(低壓)共同作為太陽電池與冷氣機間之緩衝，發揮穩定電壓與保護冷氣機之功能，以提昇本系統抵抗太陽光輻射量擾動之強健性；此外，鉛酸電池提供給冷氣使用之電能亦可在太陽輻射量充足時由太陽光發電補充，藉此可提高本系統之太陽能能源替代率；
4. 本系統透過自行研發之電池管理與能量管理整合控制技術，可在冷氣機運轉下同時對鋰電池芯/模組進行電量平衡工作。在電池芯/模組高電量狀態下，能量控制器將輸出電壓保持在直流/交流逆變器的輸入電壓範圍內和進行電池的充放電控制，除了供應冷氣機電源，電池管理系統可同時對鋰電池芯/模組進行電量平衡。
5. 本系統之冷氣機控制透過擾動式搜尋法，以搜尋冷氣機最佳效能係數(Coefficient of Performance, COP)，並透過蒸發器之風速控制，將冷氣機之 COP 值盡可能控制在此最佳值，根據 2012 年 12 月~2013 年 1 月所收集之實驗數據顯示，在外界環境溫度約攝氏 25 度、蒸發器出風口溫度約攝氏 17 度下，COP 平均值可達 2.0 左右，若是在較高環境溫度下，COP 值可再提高。

### 創意實現方法

圖 4 為本創作之太陽能冷氣空調系統架構圖，此系統最重要的控制器為能量管理控制器(Energy Management Controller 簡稱 EMC)，EMC 負責監測並整合三種不同的能量來源以供應冷氣系統運轉，此三種能量來源分別為 12V 460W 的太陽能板模組(POWERCOM 公司)，12V 20AH 之鋰離子電池組(PSI 公司)以及 12V 120AH 的複合鉛酸電池組(Apogee 公司)。

此冷氣機系統之能量主要來源為太陽能板模組與鋰離子電池組，鉛酸電池組則為模擬純電動車中之低電壓電瓶，但非純電動車之動力來源。此鉛酸電池組則依賴純電動車上配置之主動力電池系統充電，電動車主動力電池系統通常是由大量的鋰離子電池組串/並聯所組成，具有大電容量與高電壓值。除非主動力電池組的電量(State of Charge, SOC)過低，否則鉛酸電池組的電壓通常都可以維持在定值。另一方面，電池管理控制器(Battery Management Controller, BMC)之主要用途為平衡鋰離子電池組充電後之截止電壓，並且避免電池組過充或過放電造成電池損壞。

本作品之冷氣機子系統包含五個部分，分別為 1kW DC 12V/AC 110V 換流器、150W 往復式壓縮機、蒸發器、冷凝器以及冷氣機控制器(Air Cooling Controller, ACC)，ACC 用以控制壓縮機開關以及蒸發器和冷凝器之風扇轉速。此 ACC 藉由使用擾動法控制風扇轉速以追蹤最大之 COP 值(Coefficient of Performance)。

本系統之 EMC 可利用 BMC 所提供的鋰離子電池組 SOC 資訊以決定不同的控制模

式，再由 EMC 決定由何處提供能量給冷氣機子系統，並將空調系統運轉控制模式指令傳給 ACC 進行冷氣機運轉控制。

## 結果與討論

本太陽能冷氣空調系統之實際運轉測試結果說明如下:

1. 圖 5 及圖 6 分別為 2012/12/28 以及 2013/1/11 之實驗結果，由此二圖可看出 EMC 可處理因太陽輻射變化所造成之發電量波動，並為冷氣機系統提供穩定的電力。再由表 2 可看出本系統之平均效能係數 COP 值約為 1.85。
2. 圖 7 顯示 EMC 可依據太陽能電池發電量及各電池剩餘電量進行不同運轉模式的切換，電源供應並盡可能減低切換頻率以漸少電力損耗、提升系統能效。
3. 圖 8 為 2013/1/15 的實驗結果，由此圖可看出 EMC 可承受電流量大於系統正常運轉所需之電流，並控制 BMC 以保護鋰電池組免於過充/放之損害。圖 9 則顯示 EMC 可承受來自換流器 100A 之輸入電流以啟動 150W 的壓縮機。
4. 圖 10 與圖 11 顯示 EMC 可透過 BMC 以控制鋰離子電池組電壓不超過 14.6V，且 BMC 對各鋰電池組內之電池芯進行電量平衡控制，將各電池芯之電壓維持於 3.6V 左右。

## 結論與建議

此太陽能冷氣空調系統之設計已考慮應用於電動車將會面臨之主要困難，亦即太陽光發電易受干擾與發電量不足之問題，透過使用包含儲能單元之混合式太陽光系統與智慧電力控制技術將可有效解決可靠度不足之問題，且運用智慧微電網之控制概念，將太陽光所發的電力主要用於驅動冷氣機運轉，發電不足時將由電動車電瓶供電，太陽光發電有剩餘時再將所借用之電能回充至電動車(低壓)電瓶，達到延長純電動車續航力與提高能源替代率之目的。

此系統之效率仍有提升之空間，例如可改進三個控制器之硬體電路以及內部韌體設計，但是若將其中一個控制器的硬體電路做更動，需要考量對其他兩個控制器造成的影響。除此之外，由於本系統之開發目的為驗證太陽能驅動冷氣系統之可行性，故系統之規格與匹配設計仍須針對實際應用之平台或場域空間大小進行設計與最佳化，這也是將來將會努力的方向之一。

本作品除了可用於研究太陽能冷氣空調系統應用於電動車之可行性，亦可視為縮小版的智慧微電網控制技術研發平台，未來可將本作品所開發之混合式太陽光電系統與微電網整合控制技術導向智慧綠能建築之開發，除了太陽能發電，亦可搭配各種不同再生能源發電系統，解決再生能源供電不易穩定以及容易對於電網造成衝擊等缺點，以真正達到節能減碳，並使用再生能源科技使人類文明可永續發展的長遠目標。

## 參考文獻

1. Miller, J.H., Solar Cooling System for an Automobile, 1976: U.S.
2. Shum, S., Solar Powered Automobile Cooling System, 1987: U.S.
3. Snow, C.E., Solar Powered Heating and Ventilation System for Vehicle, 2004: U.S.
4. Kil Sang Jang, D.W.L., Solar Cell System for Vehicle and Control Method Thereof, 2012: U.S.
5. Lin, T.-H., Research on Solar Air-Conditioning System for Direct Driving. 2011.
6. Huang, B.J., F.S. Sun, and R.W. Ho, Near-maximum-power-point-operation (nMPPO) design of photovoltaic power generation system. *Solar Energy*, 2006. 80(8): p. 1003-1020.
7. Allegro Specification of ACS758, 2012.
8. IRF 2804 AUTOMOTIVE MOSFET.
9. Tonui, J.K. and Y. Tripanagnostopoulos, Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. *Renewable Energy*, 2007. 32(4): p. 623-637.
10. Ward, T.A., Hybrid Vehicle With A Low Voltage solar Panel Charging A High Voltage Battery Using A Series Charger To Separately Charge Individual Cells Of the Series Connected Battery 2011: U.S.
11. Chaoui, H., P. Sicard, and H.J.N. Ndjana, Adaptive state of charge (SOC) estimation for batteries with parametric uncertainties in *Advanced Intelligent Mechatronics* 2010: Montreal, ON.
12. McIntyre, M., et al., Adaptive State of Charge (SOC) Estimator for a Battery, in *American Control Conference* 2006: Minneapolis, MN. p. 5740-5744.
13. He, H., R. Xiong, and J. Fan, Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach. *Energies*, 2011. 4(4): p. 582-598.
14. Chaturvedi, N.A., et al., Algorithms for Advanced Battery-Management Systems MODELING, ESTIMATION, AND CONTROL CHALLENGES FOR LITHIUM-ION BATTERIES. *Ieee Control Systems Magazine*, 2010. 30(3): p. 49-68.
15. Di Domenico, D., A. Stefanopoulou, and G. Fiengo, Lithium-Ion Battery State of Charge and Critical Surface Charge Estimation Using an Electrochemical Model-Based Extended Kalman Filter. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-Transactions of the Asme*, 2010. 132(6).
16. Smith, K.A., C.D. Rahn, and C.Y. Wang, Model-Based Electrochemical Estimation and Constraint Management for Pulse Operation of Lithium Ion Batteries. *Ieee Transactions on Control Systems Technology*, 2010. 18(3): p. 654-663.
17. Santhanagopalan, S. and R.E. White, Online estimation of the state of charge of a lithium ion cell. *Journal of Power Sources*, 2006. 161(2): p. 1346-1355.
18. He, H.W., et al., Online model-based estimation of state-of-charge and open-circuit voltage of lithium-ion batteries in electric vehicles. *Energy*, 2012. 39(1): p. 310-318.

19. Habiballah, R.E. and C. Mo-Yuen, Adaptive Parameter Identification and State-of-Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries, in IEEE Industrial Electronics Society2012: Montreal, Canada.
20. Shen, Y.Q., Adaptive online state-of-charge determination based on neuro-controller and neural network. Energy Conversion and Management, 2010. 51(5): p. 1093-1098.
21. Chiang, Y.H., W.Y. Sean, and J.C. Ke, Online estimation of internal resistance and open-circuit voltage of lithium-ion batteries in electric vehicles. Journal of Power Sources, 2011. 196(8): p. 3921-3932.
22. Åström, K.J. and B.r. Wittenmark, Adaptive control. 2nd ed. Dover books on engineering. 2008, Mineola, N.Y.: Dover Publications. xvi, 573 p.
23. Ioannou, P.A. and B. Fidan, Adaptive control tutorial. Advances in design and control. 2006, Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics. xvi, 389 p.
24. Fisher, T. Interactive Digital Filter Design. Available from: <http://www-users.cs.york.ac.uk/~fisher/mkfilter/>.

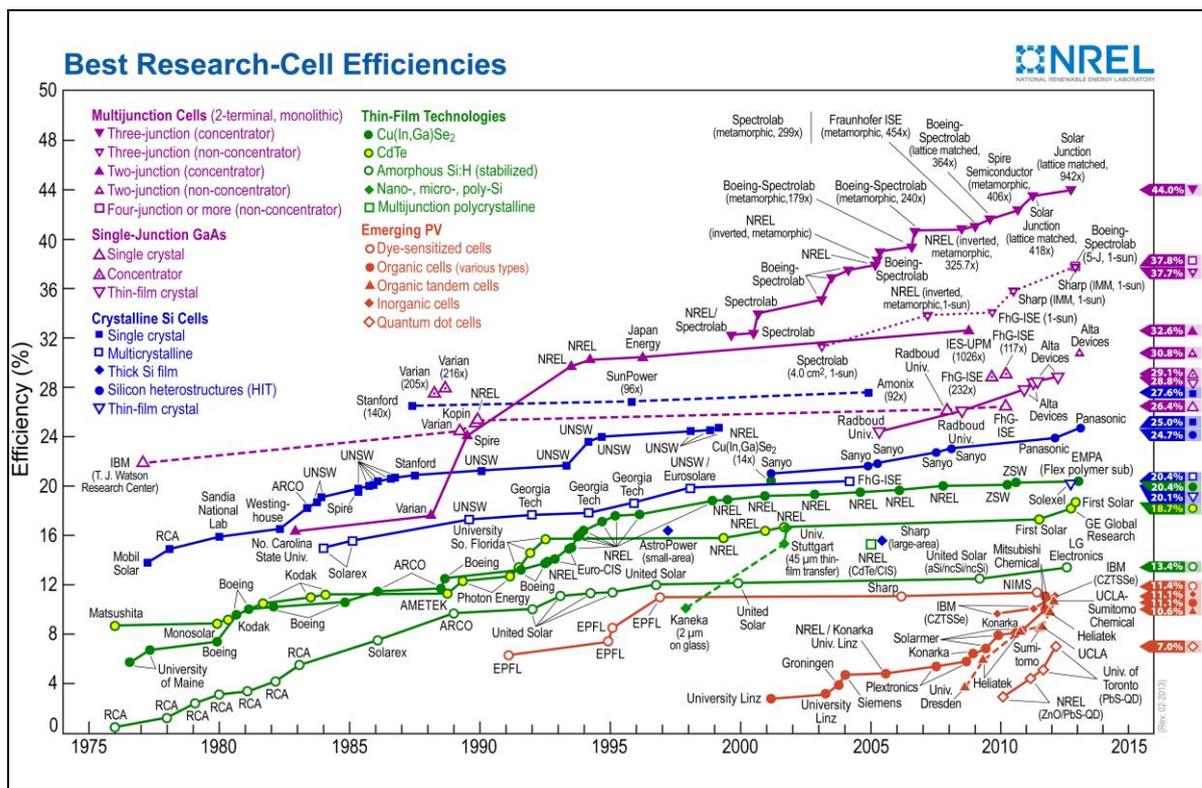


圖 1. 太陽能發電技術與效率增進趨勢圖(資料來源: National Renewable Energy Laboratory)

達成「零能」的要領  
Basic guideline for Zero-Energy

低能 + 再生能源 = 零能  
Low-energy + Renewable energy  
= Zero Energy

圖 2. 台大新能源中心零能屋(ZEH)設計理念

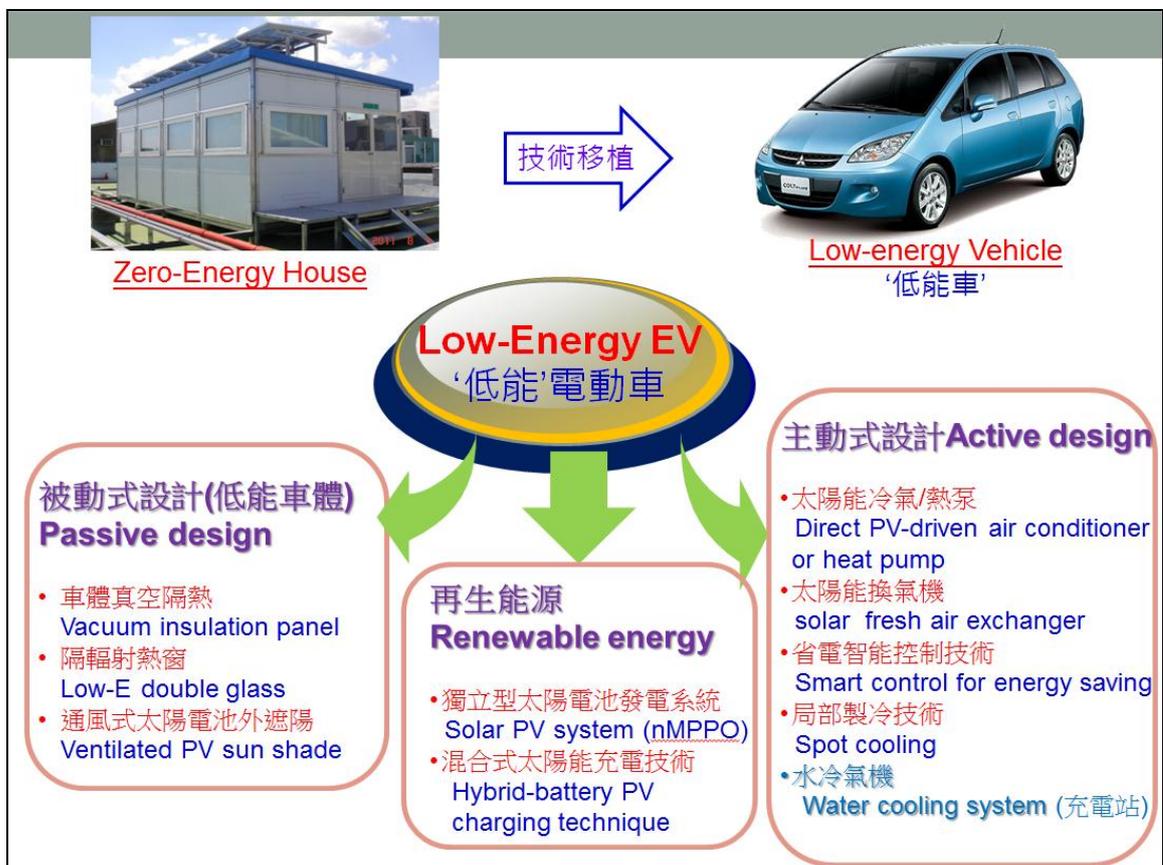


圖 3. 台大新能源中心零能屋空調技術應用於電動車低耗能空調技術開發

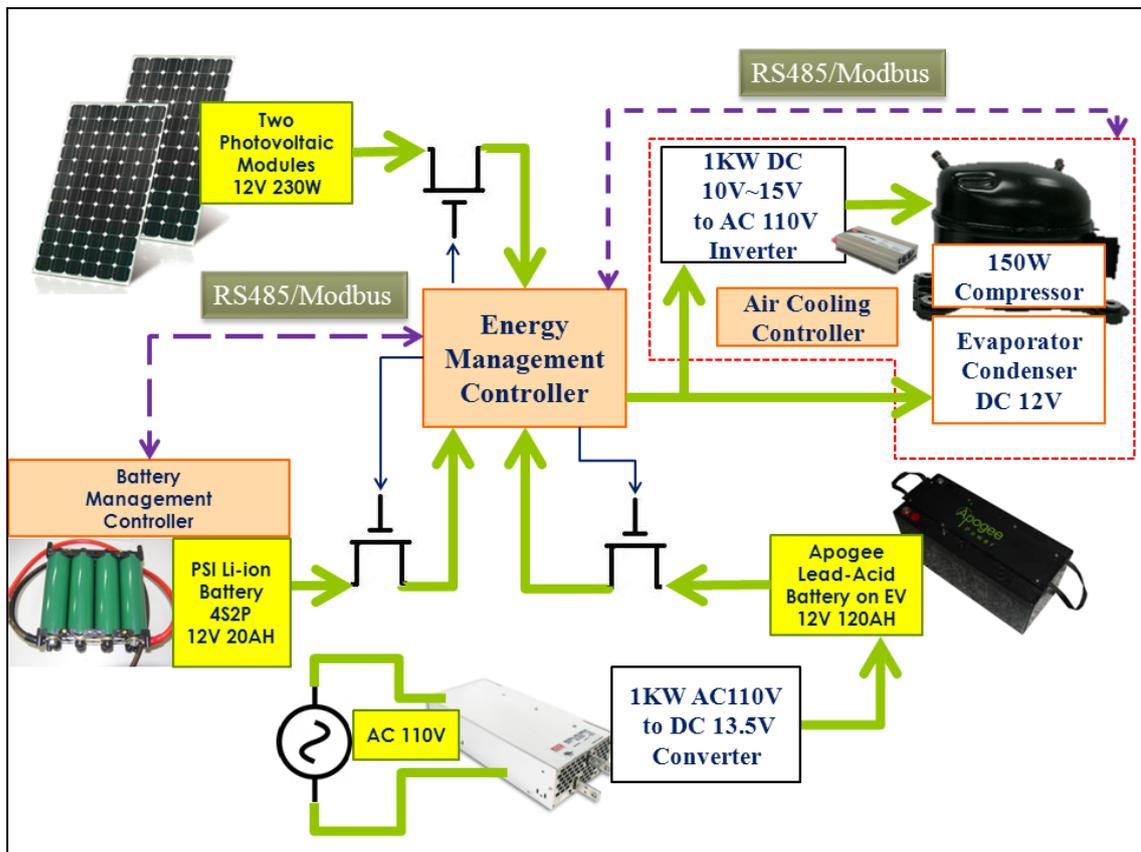


圖 4. 台大新能源中心之太陽能直驅冷氣系統架構圖

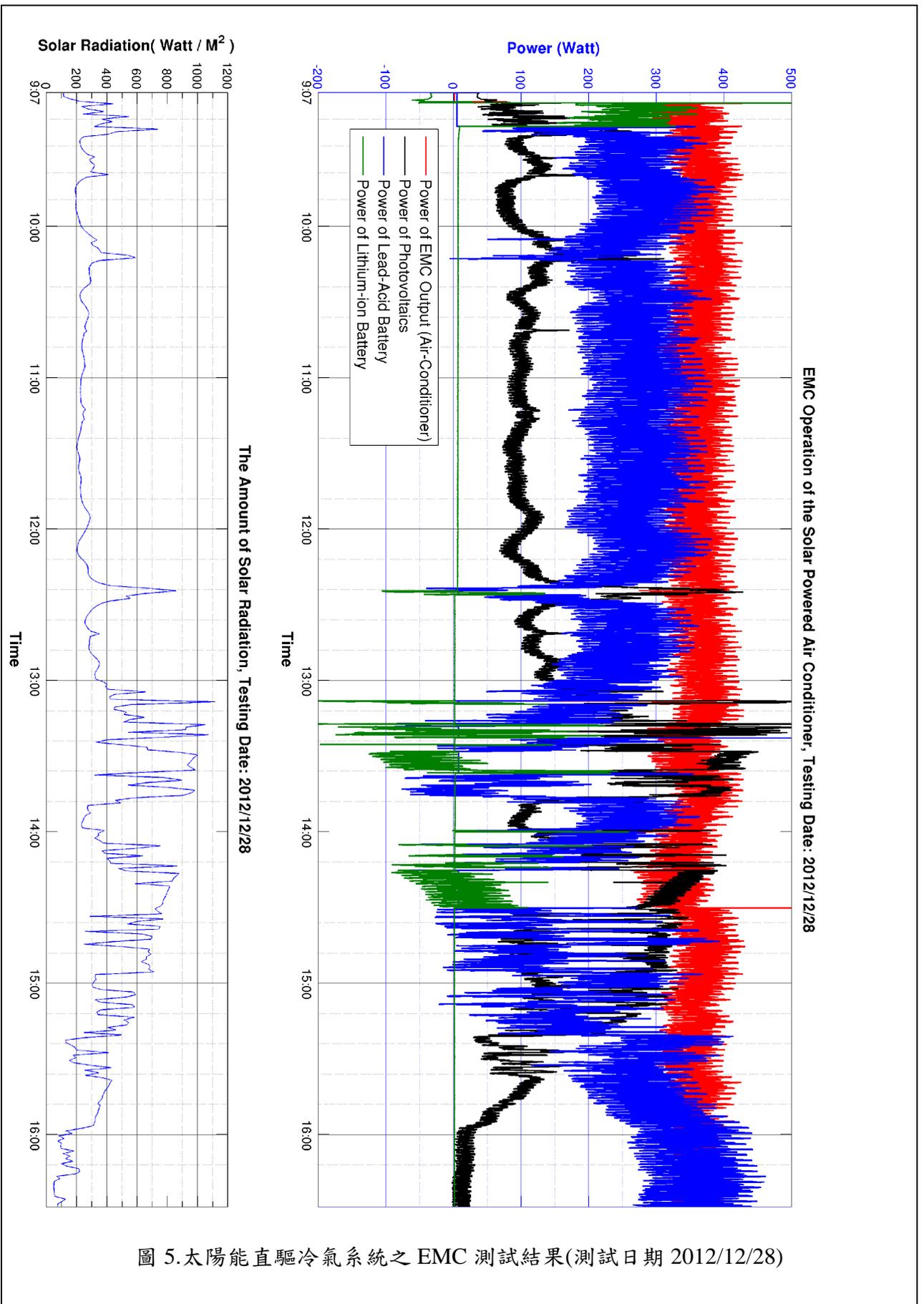


圖 5.太陽能直驅冷氣系統之 EMC 測試結果(測試日期 2012/12/28)

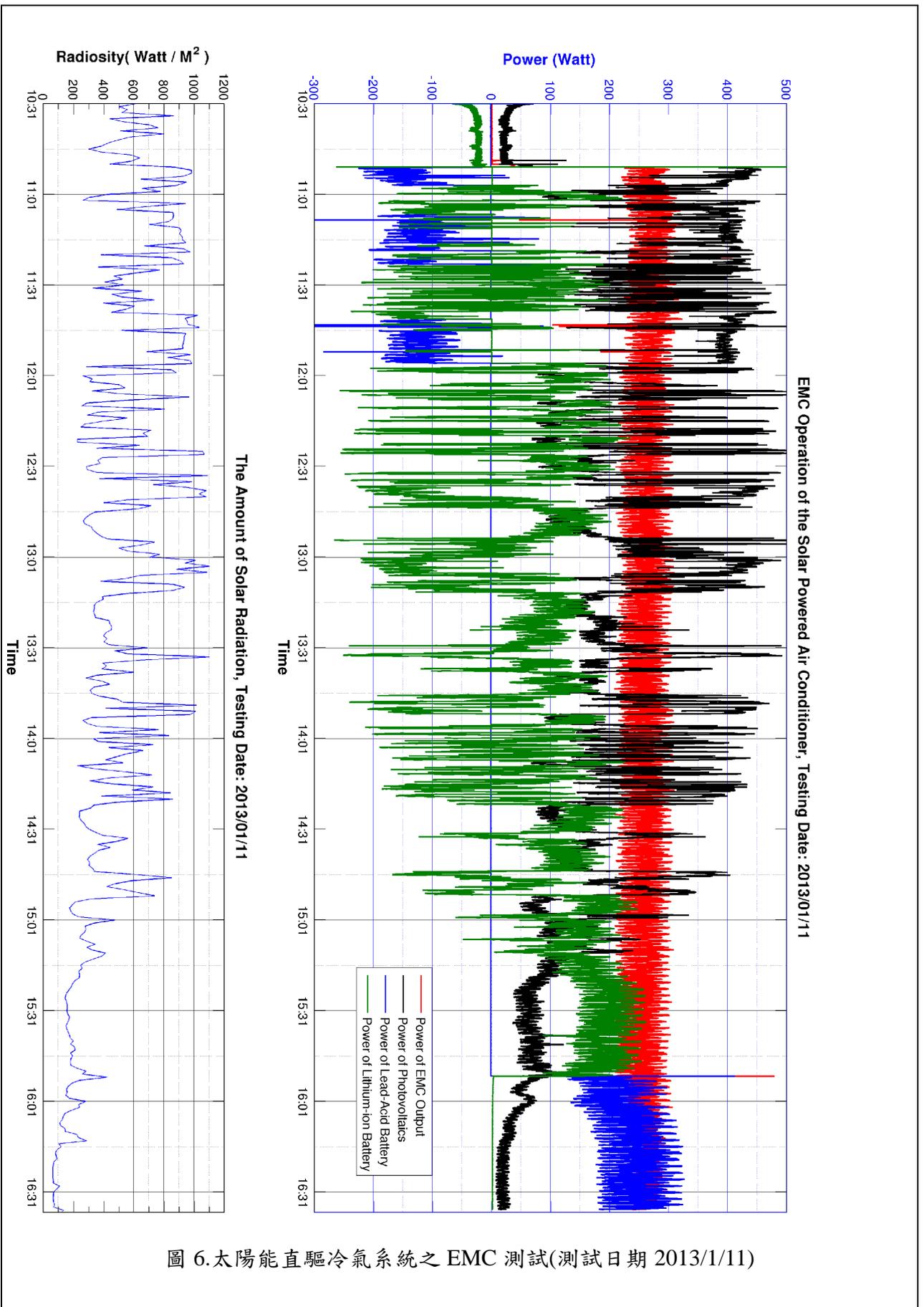


圖 6. 太陽能直驅冷氣系統之 EMC 測試(測試日期 2013/1/11)

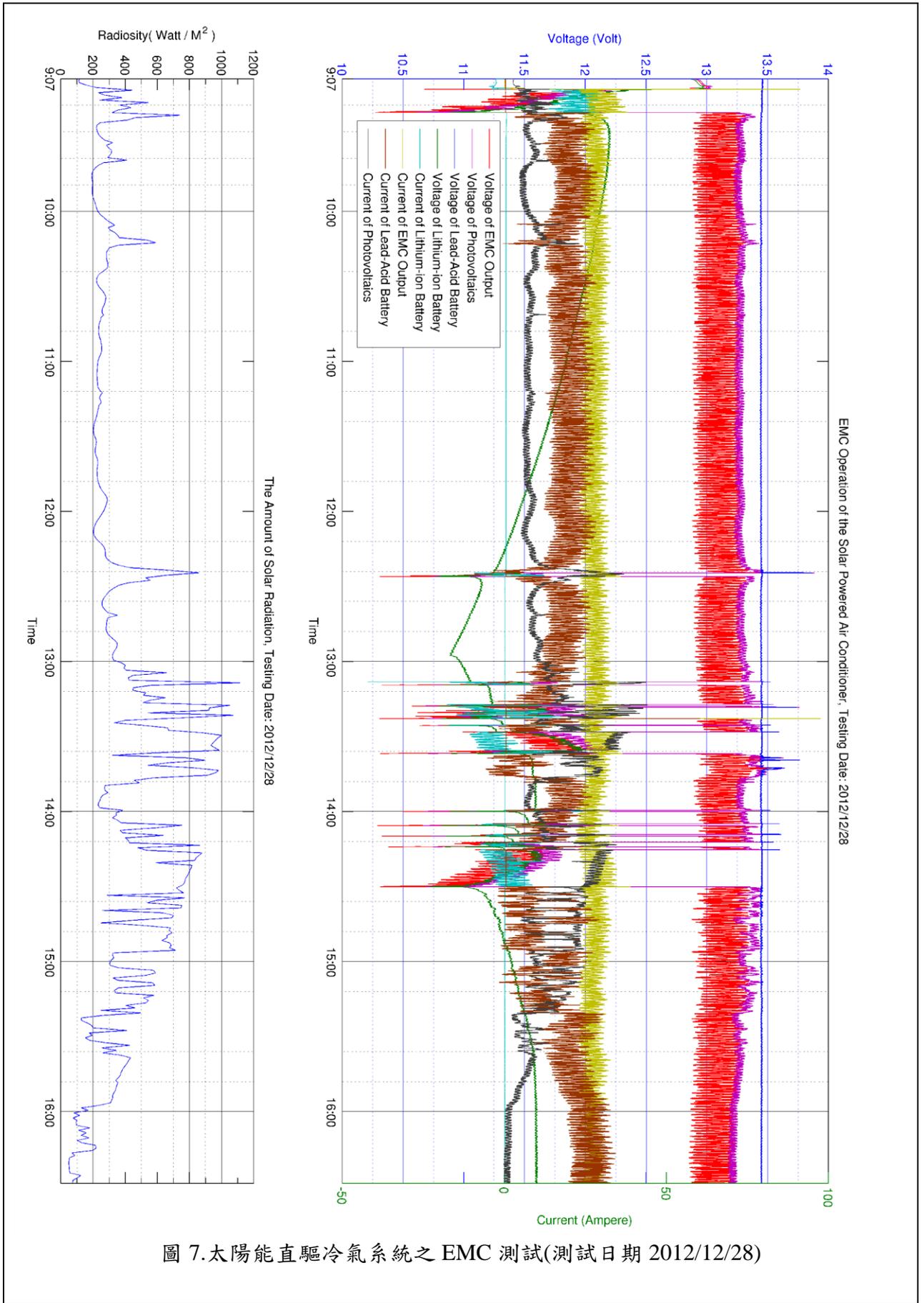


圖 7.太陽能直驅冷氣系統之 EMC 測試(測試日期 2012/12/28)

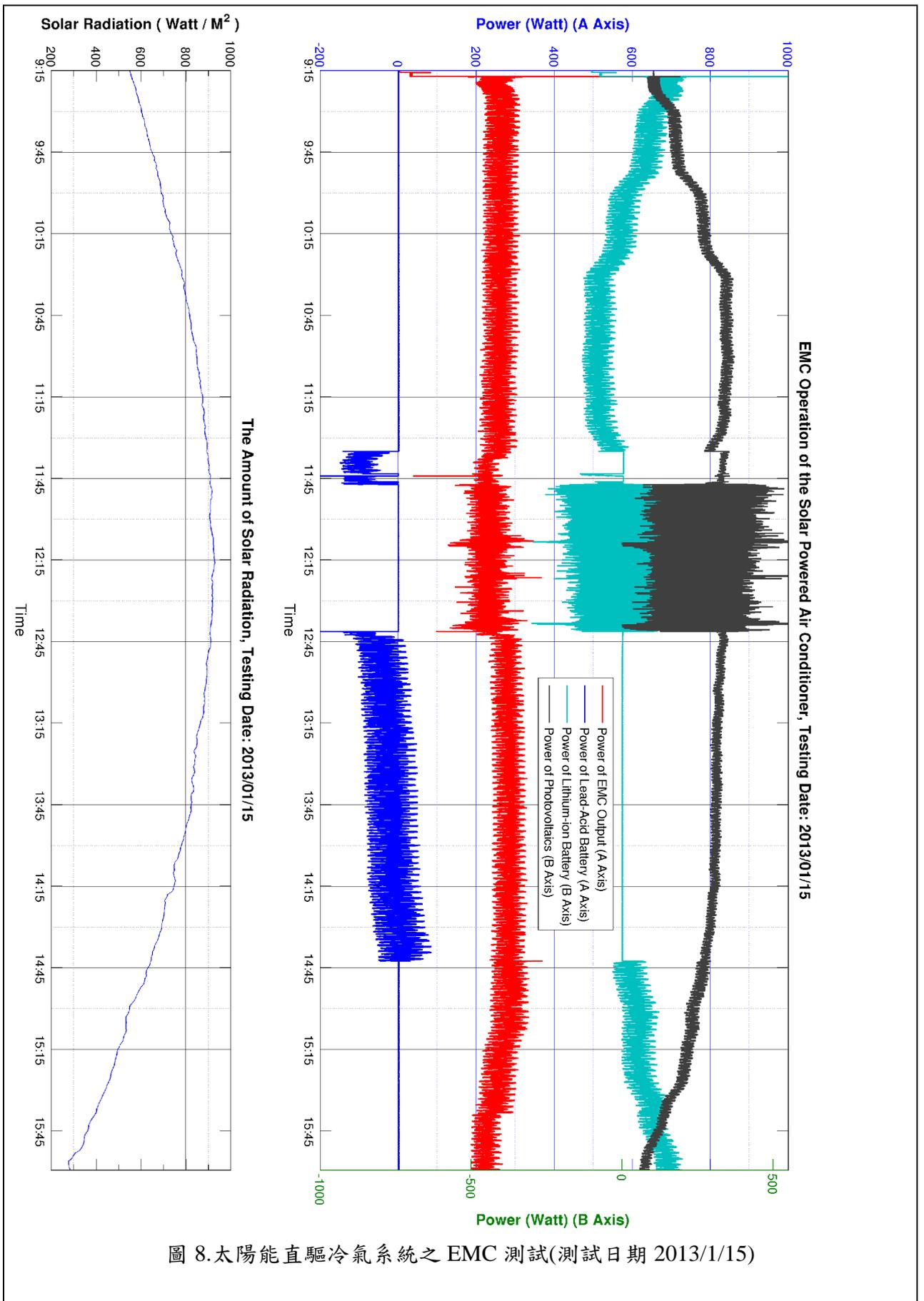


圖 8. 太陽能直驅冷氣系統之 EMC 測試(測試日期 2013/1/15)

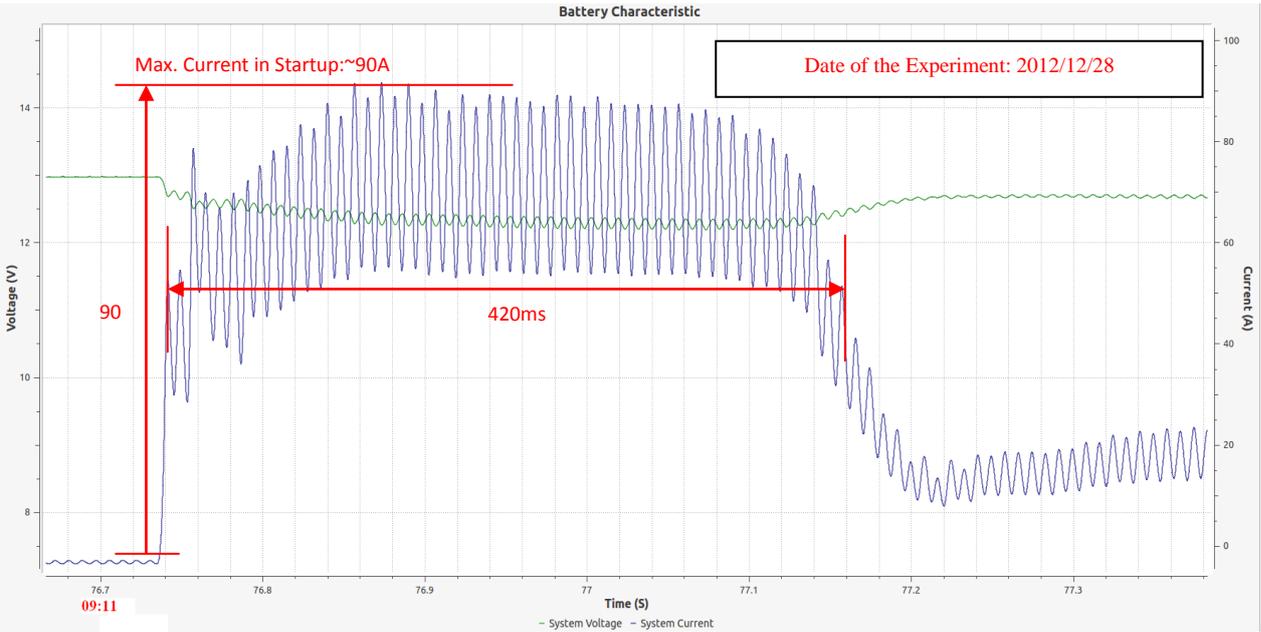


圖 9. 由 12V 20AH 鋰離子電池組驅動之壓縮機啟動電流 (測試日期 2012/12/28)

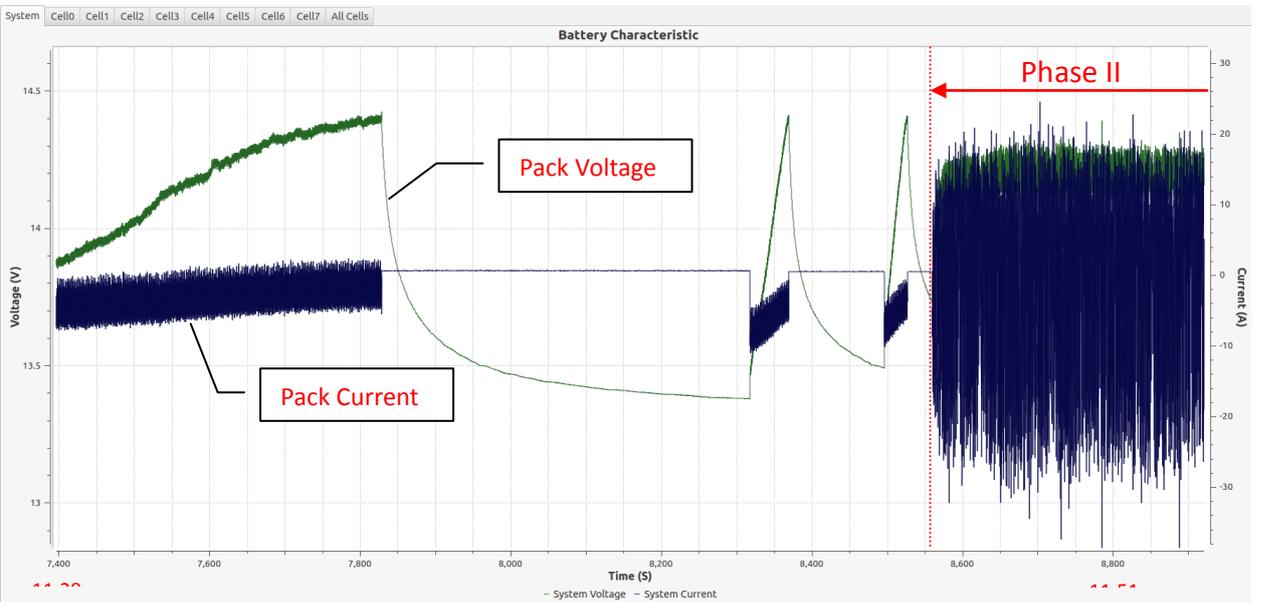


圖 10. 鋰離子電池組電壓與電流波型圖 (測試日期 2013/1/15)

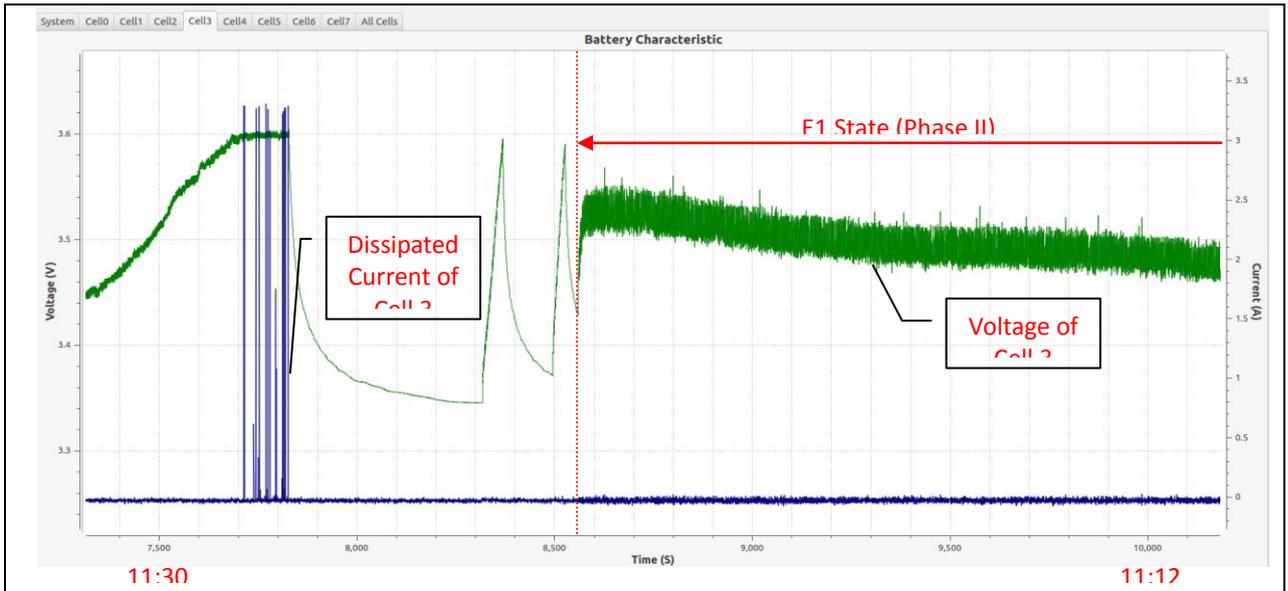


圖 11.單顆鋰離子電池(cell 3)電壓與電流波型圖(測試日期 2013/1/15)

表 1 本系統之三個控制器軟/硬體

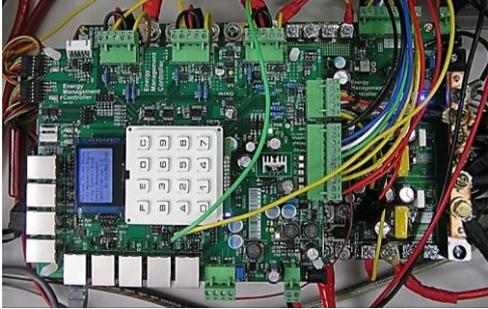
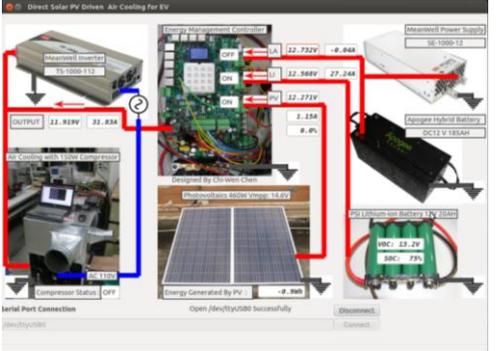
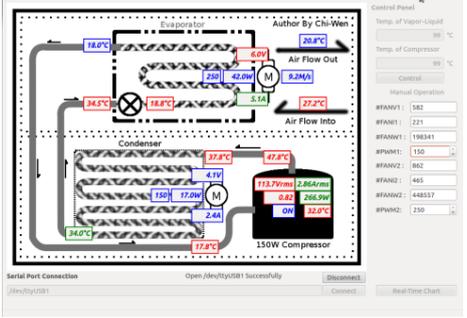
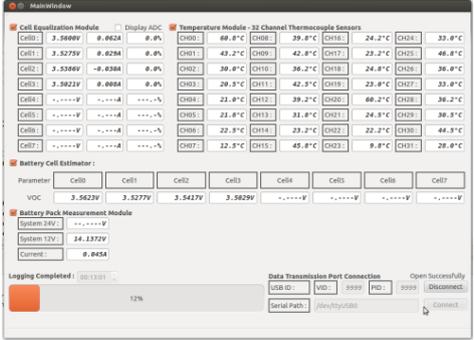
Controller	Hardware	Real-Time Data Acquisition Software
EMC		
ACC		
BMC		

表 2 太陽能直驅冷氣系統效能分析 (測試日期 2012/12/28)

Parameter	Value (After 9:20)
Average COP	1.846
Average Air Cooling Capability	672 Watt
Average Total Power Consumption	363.8 Watt
Average Power Consumption of Compressor (including Energy Loss of the Inverter)	255.0 Watt
Average Power Consumption of Condenser	12.2 Watt
Average Power Consumption of Evaporator	59.3Watt
Peak of Compressor's Startup Current	103A