

基於藍芽區域網路實現一對多節點電能訊號量測設計

宋啟嘉* 陳冠豪

國立虎尾科技大學電機工程學系

摘 要

本文提出基於藍芽 4.0 區域網路通訊技術，以低功耗、無線傳輸技術實現一對多連線，建立資料的連結，並利用低成本微處理器整合手持行動裝置，實現遠端多節點監控系統。一般對於精密機具的工具以鉤錶和電錶最為常見，這些檢測工具量測過程常受限於距離、線材纏繞與線徑大小的問題，如果要檢測多節點是更為困難，必須要有數個檢測儀器同時進行量測，作為整體線路的監控是非常凌亂不容易整合。本系統利用藍芽 4.0 低功耗 BLE 技術實現遠端即時監控多節點電能狀態，使用者只要透過智慧監控平台就能快速取得數據，減少人為操作達到省時省力之概念。

關鍵詞：藍芽4.0 BLE，電能監控，一對多，多節點監控

Implementation of the Multipoint Energy Data Measurement based on Bluetooth 4.0 BLE

Chi-Chia Sun* Guan-Hao Chen

Department of Electrical Engineering, National Formosa University

ABSTRACT

In this paper, a multipoint energy data collector based on Bluetooth 4.0 communication with low power and high speed features is proposed. It has integrated a low power microprocessor system and the smart device to remote the multipoint energy monitor system. Multimeter and current meter are the most common tools when measuring the energy data of precision CNC(Computer Numerical Control) and home appliances. The proposed system can not only collect multipoint current measurements or energy data using the wireless communication technique, but also support temperature calibration based the characterization of the removable hall current sensor. Moreover, engineers can easily maintain the proposed intelligent monitor platform and save human operation resources.

Keywords: Multimeter, Current Meter, Bluetooth 4.0, Low Power, Multipoint Measurements

文稿收件日期 104.06.25; 文稿修正後接受日期 105.02.18; *通訊作者
Manuscript received June 25, 2015; revised February 18, 2016; * Corresponding author

一、前言

隨著經濟成長，全國產業隨著全球經貿競爭的影響所牽動著，傳統產業必然要朝向科技化與國際化發展，方能在全國產業經貿的道路上生存下去。經濟部依據行政院核定「產業發展綱領」精神，以 2020 年為目標，完成「2020 產業發展策略」，並擬定 2020 產業發展策略將全力推動三業四化，即「製造業服務化、服務業科技化與國際化、傳統產業特色化」，積極朝向智慧生活產業(製造業服務化)、工具機智慧製造(製造業服務化)、物流產業(服務業科技化)、資訊服務業(服務業國際化)、創新時尚紡織(傳統產業特色化)發展。其中，精密機具產業是台灣除了光電、半導體產業之外，下一個最有機會成為有兆元產業的亮點之一，在三業四化政策中亦被選定為首要推動的目標，在此將運用資通訊技術來解決設計開發與驗證所花費的大量時間，強化系統整合之整合能力，提升產品設計開發之效率 [1]。

本論文將結合微小型線性霍爾電流感測元件、電壓互感元件、微處理器和藍芽區域傳輸網路，形成一項針對精密工具機使用的智慧型點對點電能監控網，透過多個微小型可拆式線性霍爾電流感測元件與電壓互感元件的方式來監測精密工具機內部電路，設計出一套智慧遠端電流監控平台。本設計模組所使用的低成本微處理器與感測元件同時擁有體積小、低功率且帶有隔離的特色，並結合多項周邊介面等功能之下，即便精密機具本身空間就有限的情況下，維修工程師仍然可以輕易地將本論文所提出的感測節點掛勾在欲監測的線路上，最後再透過點對點藍芽區域傳輸將多個感測節點所監測的資料傳送回智慧監控平台。讓設備檢測流程在安全無疑慮的情況下透過遠端連線來即時的得知工具機內部線路的狀況，然後進行異常訊號擷取，藉此就能提高整體產業產品設計、測試到生產之作業效率，減少因維修所損失的成本。

本論文的結構如下，第 2 節首先介紹相關藍芽通訊，第 3 節將會對整體控制架構作介紹。第 4 章節為系統測試評估，而第 5 章節為本文的結論。

二、相關通訊技術

藍牙(Bluetooth)，是一種無線個人區域網 WPAN (Wireless Personal Area Network)，最初由易利信於 1994 年提出，後來由藍牙技術聯盟訂定技術標準，其頻率是 2.45GHz 的無線電介面，它使帶有電子埠的裝置能夠在小範圍內進行無線通訊，每個藍芽連接裝置是根據 IEEE 802 標準所制定的 48 bit 地址，可以以低功率一對一連接或一對多連接，傳輸範圍可達 10 公尺(0dbm)到 100 公尺(20dbm)，採用每秒 1600 次跳頻展頻技術。跳頻展頻在同步情況下，發射與接收端以特定型式的窄頻電波來傳送訊號，為了避免在特定頻段受其他雜訊干擾，發射與接收兩端傳送資料經過一段極短時間後，便同時切換到另外一個頻段，由於不斷的切換頻段，因此很難受到特定頻段的干擾。藍芽是基於無線電的連接，不必為了相互通訊而設定可見的有線連接，運用安全機碼和強健的加密，提高通訊間的可靠性和保密性。藍芽 1.0 規格推出以後，藍芽並未立即受到廣泛的應用，除了當時對應藍芽功能的電子裝置種類少，相容性是個大問題，藍芽裝置也十分昂貴。藍芽 2.0 規格最特別就是 EDR(Enhanced Data Rate)，在此規範下將藍芽傳輸率提升至 2Mbps、3Mbps，遠大於 1.x 版的 1Mbps，Bluetooth 2.1+EDR 加入了 Sniff Subrating 功能，如果傳輸資料量不變下，傳輸率的增加更能降低更多耗電。到了 Bluetooth 3.0+HS(High Speed)規格傳輸速度更提高到 24Mbps，並支援增強電源控制。目前最新的藍芽 4.0 規格為一個綜合協定規範，核心技術包含了傳統藍芽 2.1+EDR、藍芽 3.0 高速技術與最新的藍芽低功耗技術 BLE(Bluetooth Low Energy)三種模式，主要是考量到藍芽除了強化速度外也不能讓耗電量情況下降，所以結合電源控制功能的技術，提升藍芽裝置的反應與電池壽命，降低因為移動所造成斷線的情況[2]。藍芽 4.0 最重要的特性是省電科技，極低的執行和待機功耗，一粒鈕鈷電池能夠連續工作達數年之久。其低成本、低功率與 100 米以上超長距離通訊特性、非常適合應用於感測網路與物聯網智能設計。

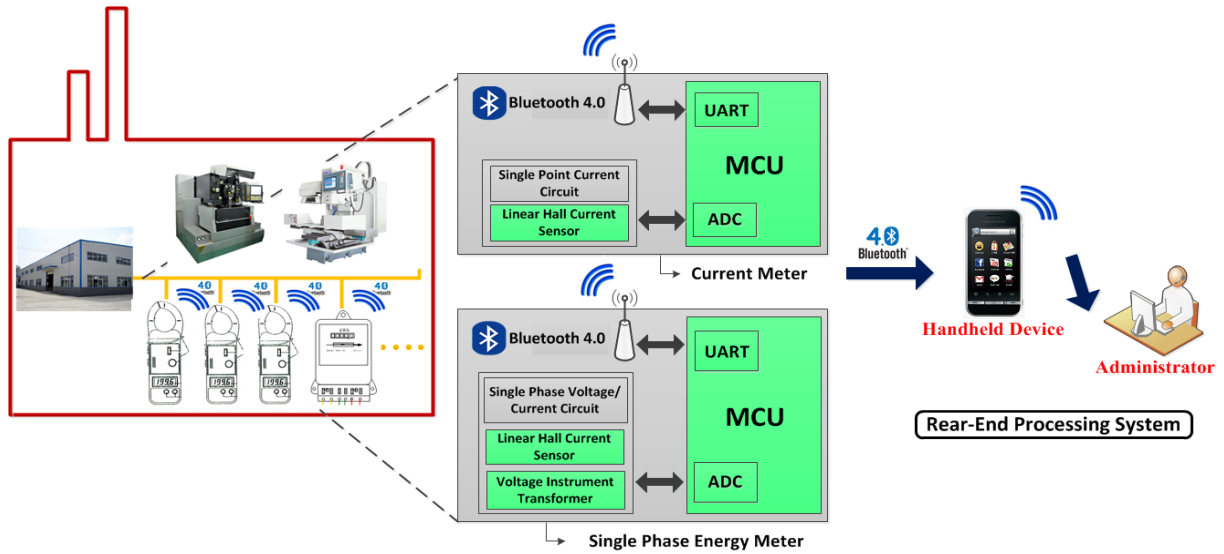


圖 1. 藍芽 4.0 一對多節點電能監控系統架構圖。

三、系統架構

本文所提出基於藍芽區域網路的遠端一對多節點電能監測系統，除了具備遠端電能監控外，並兼具電能管理重要功能。圖 1 為系統架構圖，運用可拆式線性霍爾電流感測元件、電壓互感元件與藍芽傳輸的結合實現智慧遠端電流鉤錶與智慧遠端電能電錶，讓檢測員可以在安全無慮情況下經由遠端監控精密機具的狀況，完全不需要任何佈線，並能利用藍芽傳輸來讓智慧平台和感測節點的微處理器聯繫，同時透過點對點傳輸，在智慧平台上面我們可以同時監控多台精密機具線路的電流電壓使用狀況，並且各個感測節點中的資料也會自行一併同步，而無需再另外設置主控端來控管各個微處理器，故對於精密機具設計與檢測更為方便安全，有效減少出產前所需要檢驗的大量時間，提升整體的效率與便利性。

圖 2 為整體系統架構方塊圖，本系統主要分為四單元：電池管理單元、電能監控單元、中央顯示單元、無線傳輸單元。電能監控單元透過可拆式線性霍爾電流感測元件與電壓互感元件來達成電能狀況的監測。在電能監控中，測量電能參數通常有電流、電壓、實功率、虛功率、視在功率、功率因數與頻率等，經由微處理器取樣感測元件其輸出類比訊號，藉此分析和計算上述電能參數。中央顯示功能會根據目標監測之數據顯示於 LCD 顯示器上，並透過無線傳輸單元即時將電能數據給

遠端裝置，使用者無須以有線方式便能使用手持行動裝置 APP 或電腦平台達成目標物迴路電能監控與管理。

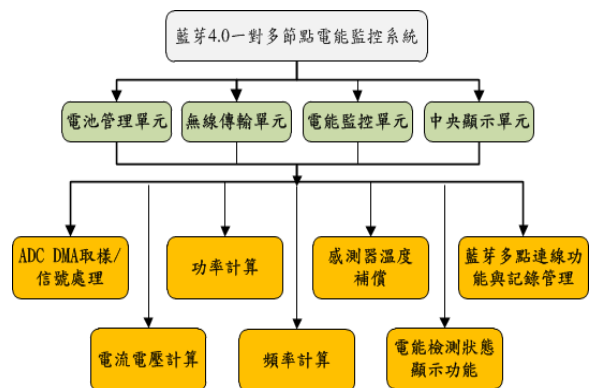


圖 2. 電能監控系統架構方塊圖。

3.1 電能監控單元

整個電能監控單元分為感測節點以及智慧監控平台端。圖 3 為單相電流監控模組之硬體元件方塊圖，輸入為 110/220VAC，透過可拆式線性電流感測元件與溫度感測元件將讀取到的訊號傳給微處理器計算，並針對感測元件周圍環境溫度給予補償，使感測節點的主程式可以達到紀錄管理、電流讀值與溫度補償等功能。在感測節點的部分可以搭配藍芽無線傳輸，將待測物量測的數據資料透過藍芽區域網路回傳至智慧監控平台。

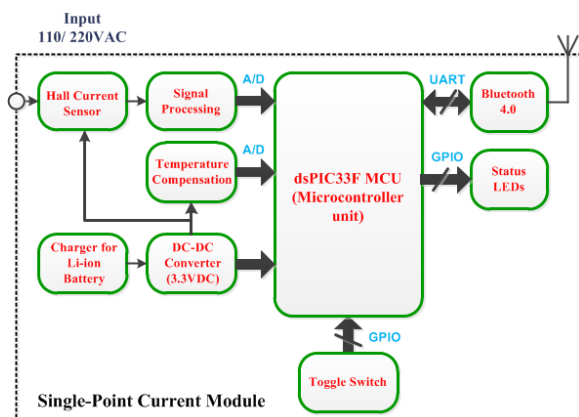


圖 3. 單相電流監控模組之硬體元件方塊圖。

圖 4 為單相電流電壓感測模組之硬體方塊圖，輸入為 110/220VAC，分別利用電流、電壓感測元件實現單相電能量測，在監控平台可以使用微處理器計算其中性線電流、電流量、電壓量、視在功率、實功率、虛功率與功率因數等監控功能。

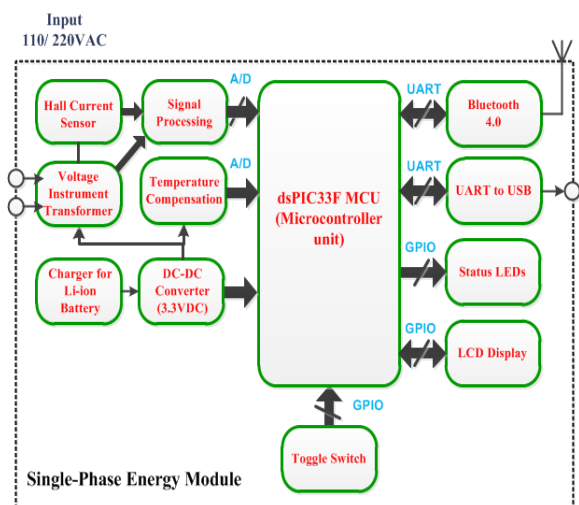


圖 4. 單相電流電壓感測模組之硬體元件方塊圖。

3.1.1 電流電壓量測

本論文之智慧單相電表電能量測輸入端採用隔離的可拆式線性霍爾電流感測元件、電壓互感元件實現內部電路與訊號之間的隔離，進而透過微處理機運算電能資料，其採用公式(1)~(8)進行電力參數計算如電流、電壓、功率和頻率等電力參數[4]。傳統電流感測元件一般使用比流器來量測電流，但由於體積過大，且靈敏度低，適合做交流量測，因此本系統採用霍爾電流感測元件(Hall Current Sensor)[3]作為本系統電流量測之前端輸入。對於交

流電流訊號之有效值在理論上只要取得波形之平均值再除以 1.414，便能取得有效值，但實際上用示波器觀測，除非是在完全電阻性的負載情況之下，否則波形不會呈現完美的正弦波，還會有很大突波出現，且不同種類的負載所感測的電流訊號並非一定為正弦波，因此唯有直接對輸入波形取樣的方式來得有效值才能求得一般檢測物的電流量。由於一般微處理器的 ADC(Analog-to-Digital Converter)取樣數據是不能直接使用的，即使很小心的設計外圍電路，讀到的值也會因為微處理器處理多個中斷同時發生的延遲導致取樣訊號並非完全同步。在此本文使 DMA(Direct Memory Access)通道直接存取 ADC 的技術來儲存取樣數據，取樣時間為 0.375MHz，除了取樣數據能夠保持連續同步特性之外，且不必把大部分資源消耗在訊號的取樣補償工作上，進而提高系統穩定度，從而降低延遲，提高訊號解析度與精確度。

霍爾電流感測元件內部之線性霍爾感測 IC 本身有加直流偏壓以提高準位，消除負半波之訊號，不需加任何外部電路便可透過微處理器 ADC 通道進行運算，將電線穿過中間的導體孔或通過內部電流通路，並供給電壓於 V_{DD} 與 Gnd 腳位之間，C 型環的電流轉換器會將此一電流成比例轉換成磁場，而線性霍爾 IC 又會將此一磁場成比例的轉換成輸出電壓。量測交流電流的方法如圖 5 所示，描述如下：

1. 零電流的校正: 紀錄零電流通過時的輸出電壓 V_{0G} (約 $V_{cc}/2$)。
2. 電流感測元件 IC 搭配微處理器計算電流值。
 - (a) 將一已知交流電流流經電流感測元件。
 - (b) 直接將類比輸出訊號接入微處理器類比輸入端。
 - (c) 計算交流訊號周期取樣 $Sample\ count$ 的面積的輸出電壓值 (V_{out})。

$$V_{out} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} V_n^2}{Sample\ count}} \quad (1)$$

其中， V_n 為第 n 個電流取樣後定的電壓值； $Sample\ count$ 為取樣總數。

- (d) 量測電流：待測電流值(I_{rms}) = V_{out} x 電流校準值 (A)。

$$I_{rms} = K_I * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} V_n^2}{Sample\ count}} \quad (2)$$

其中， K_I 為電流校準值。

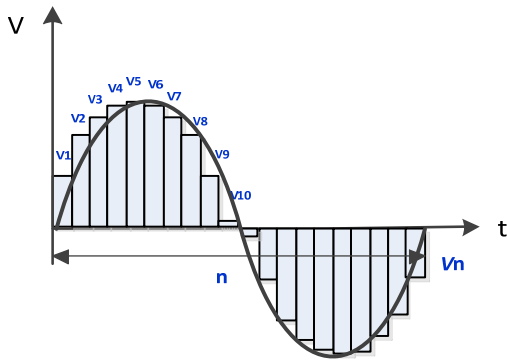


圖 5. 交流訊號取樣圖。

電壓量測採用隔離式電壓互感元件 (Voltage Instrument Transformer) 經由電磁感應原理對交流一次測高電壓轉換成低電壓取得電壓訊號，加入直流偏壓提升直流準位，以達到微處理器 ADC 通道能夠接受電壓範圍之內實現量測電壓訊號，電壓量測電路如圖 6 所示。其透過微處理器進行訊號處理後，直接對取樣波形計算電壓有效值，經由校準取得準確之電壓值 V_{rms} 。

$$V_{rms} = K_V * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} V_{tn}^2}{Sample\ count}} \quad (3)$$

其中， K_V 為電壓校準值； V_{tn} 為第 n 個電壓取樣值； $Sample\ count$ 為取樣總數。

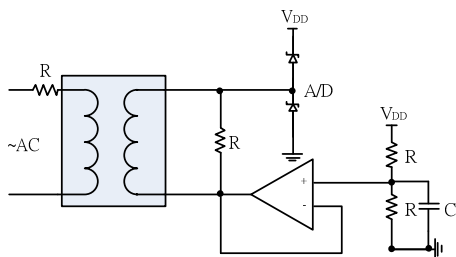


圖 6. 電壓量測電路。

3.1.2 功率與功率因數

理想正弦波條件下，平均功率 P (Average Power) 又稱實功率 (Active Power)，為瞬時功率 $p(t)$ 之平均值，即為 $P=VI \cdot \cos(\phi)$ ，但是電壓、電流畸變時，非理想下其在週期內取樣連續電流、電壓值，則單相實功率即為：

$$P = K_P * \frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} V_n * I_n}{Sample\ count} \quad (4)$$

其中， K_P 為實功率校準值； V_n 為第 n 個電流取樣後定的電壓值； I_n 為第 n 個電流取樣值； $Sample\ count$ 為取樣總數。

虛功率 Q (Imaginary Power) 又稱無效功率 (Reactive Power)，為電源傳送視在功率中，沒有消耗掉之功率：

$$Q = K_Q * \frac{\sum_{n=1}^{Sample\ count} V_{n(90)} * I_n}{Sample\ count} \quad (5)$$

其中， K_Q 為虛功率校準值； $V_{n(90)}$ 為第 n 個電壓取樣值相移 90 度； I_n 為第 n 個電流取樣值； $Sample\ count$ 為取樣總數。

在功率計算過程中若不考慮其電壓與電流相位差則為視在功率 S (Apparent Power)，即為上述電流有效值與電壓有效值的乘積：

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (6)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

根據實功率與視在功率，可推算出相對的功率因數 PF (Power Factor) 如圖 7 所示，即實功率與視在功率的比值，若 ϕ 為電壓與電流之間的相位差，則功率因數等於此相位角的餘弦 $|\cos \phi|$ ：

$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S} \quad (8)$$

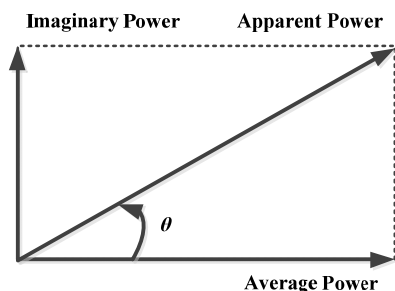


圖7. 功率因數向量示意圖[4]。

功率因數大小與其電壓相對於電流相位角超前與落後，可以監測負載端之功率損失，且判斷負載性質。

3.1.3 頻率量測

交流電頻率的量測主要分為硬體測頻法與軟體測頻法。硬體測頻法之計數法主要經過轉換電路，把原始訊號轉換為脈衝訊號，然後在基頻 f_{base} 內對該脈衝訊號進行計數 N ，則待測頻率為 $f=N/f_{base}$ ，但此方法適用於高頻訊號，頻率越高，測得的頻率越準確，對於低頻訊號測量誤差大；另外，週期法是利用基頻 f_{base} 與待測頻率重疊的概念，利用週期的變化觸發計數器工作，計數值為 N ，其待測頻率為 $f=f_{base} \times N$ ，此方法當待測頻率高於基頻時，會無法計數，只適合做低頻訊號量測。軟體測頻法以過零點法最為常見，使用定時器測量兩個過零點的時間差來計算頻率，此方法只適合用於測量低頻訊號，精度較低，容易受到諧波、雜訊、突波和非週期性訊號的影響[5]。

在工業科技社會下，越來越多非純電阻性負載的電器設備出現，電氣設備大量的運行下，使得電網中的波形發生變化，波形的畸變從而產生了諧波。目前電力系統由於受負載變化影響，已經造成大量諧波注入電網，諧波的污染越來越嚴重，對電器設備的影響會更具傷害，例如電器設備過熱、易老化等。本論文使用微處理器內建之快速傅立葉轉換 FFT (Fast Fourier Transform) 硬體模塊將輸入訊號從時域映射到頻域，在不增加額外硬體與計算負擔情況之下，利用取樣序列來估算頻率，並透過此方法測量諧波，雖然稍微增加了計算時間，但可以有效提高頻率偵測的精確度和相對應的速度，解決了測量範圍的問題與受到諧波、雜訊、突波和非週期性訊號測量的影響，有效地進行電源控制、負載減輕及系統保護等。

3.2 區域無線傳輸單元

本論文使用藍芽 4.0 低功耗傳輸方式，長期監控掛夾於精密工具機或機台設備內的電流監測模組與電能檢測模組狀況，並記錄電流值與其相關電能數據，經由點對點傳輸方式回傳至智慧監控平台，由於電流資料傳輸量並不大，加上監測平台距離精密工具機通常不會超過 20 公尺，因此藍芽 4.0 低功耗技術規範的傳輸速率與距離可以滿足此本文設計的規格需求。本設計藍芽傳輸模式為主從模式 (Master/Slave)、星型網路拓撲與廣播通訊的架構，由一個主節點能發出發布事件廣播給射頻範圍內的所有子節點，其中央設備可以執行掃描周邊設備並建立清單，如果中央設備要與周邊設備配對，在啟動過程中將會交換各種連接參數，使之連接[6]，一對多節點藍芽連線方式示意圖如圖 8 所示。

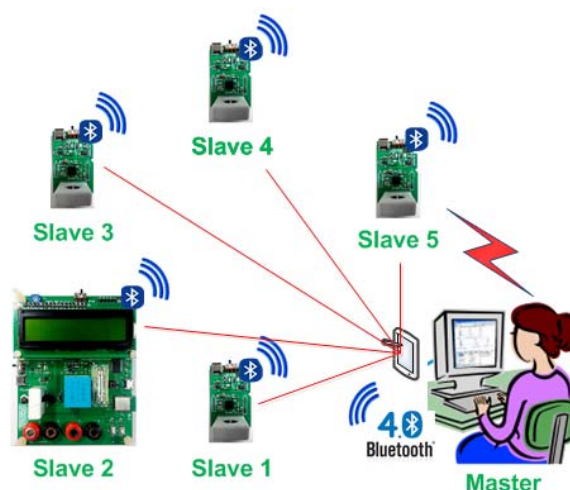


圖8. 藍芽一對多節點傳輸示意圖。

四、系統實測與評估

由於積體電路技術發展迅速，許多傳統大型電路都被微小化，不僅大幅節省空間和成本，在設計與偵錯上都更加容易，提升了系統的可靠度和穩定度，因為體積的縮小更能有效減少外來的雜訊干擾，因此大部分的類比驅動電路已被新的數位電路所取代，譬如微控制器就是整合多種類比電路功能於一身的數位 IC，使用起來不僅更方便，並且增加了控制的準確性，ADC 類比數位轉換器也可由簡單的設定取樣/保持時間以及解析度來達成。在本節中，將針對電能管理系統之電流、電壓量測

與溫度補償進行校準，並擷取校準值執行各項運算，如功率、功率因數與頻率等。在進行校準之前必須探討電流與電壓原始信號所讀取的雜訊與突波信號，再進一步對取樣波形進行校準，最後實現電能的量測。

4.1 訊號處理

本設計使用 dsPIC33F 晶片作為電能監控節點設計之核心，通過外部感測電路進行電能計算與誤差主動補償。dsPIC33F 晶片的 ADC 解析度為 10 bits，其轉換速度為 1.1Msps，最多支援 4 個類比通道同步取樣功能，使用內部定時器觸發事件信號 ADC 轉換，透過 DMA 通道直接存取 ADC 的技術進行取樣數據的儲存，而不必把大部分資源消耗在訊號的取樣工作上。因此，微處理器便能保留大部分處理能力在高運算效能的任務，進而提高系統穩定度，從而降低延遲[8]。

電流、電壓感測元件在無通電情況下經由 ADC 取樣轉換量化波形並非完全呈現線性結果，取樣信號很容易受到外來能量所產生訊號干擾，例如微處理機內部數位信號與藍芽等，在此透過訊號濾波與雜訊處理技術，可在無電流情況下使雜訊完全消除，使其成為純直流。微處理器構成的濾波器可以根據輸入不同雜訊特性自動去除雜訊，遠優於傳統類比電路，經由不同負載量測過後，波形不會呈現完美的正弦波，根據電氣設備不同還會有大的突波出現，圖 10(a)為未處理過 ADC 取樣轉換量化波形。現在市面上有許多可以抑制突波的產品，但實際上這些保護器只能減少突波量並非能完全去除，在此經由訊號處理得到如圖 10(b)改善之波形，可發現比圖 10(a)波形改善了許多，解決了突波而導致後端電能運算問題。

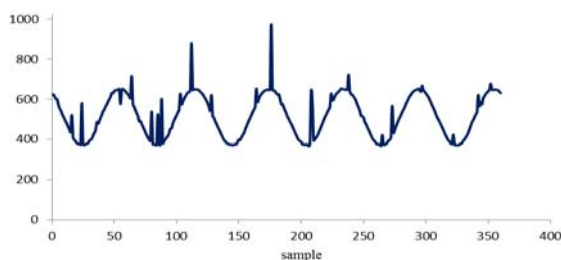


圖 10(a). 未處理過 ADC 取樣轉換量化波形。

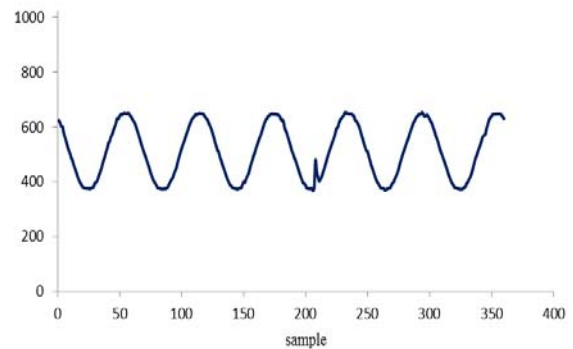


圖 10(b). 已處理過 ADC 取樣轉換量化波形。

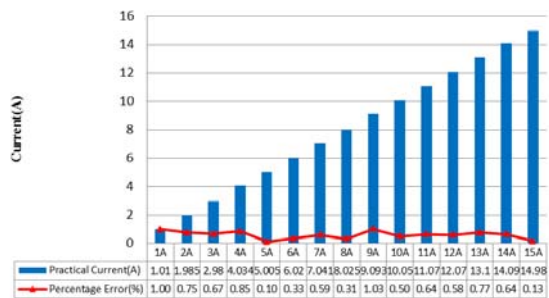
4.2 電流電壓校準

為了保護微處理機晶片的安全，在電壓與電流輸入信號使用了可拆式線性霍爾電流感測元件與隔離式電壓互感元件，將待測量訊號與電源隔離開。

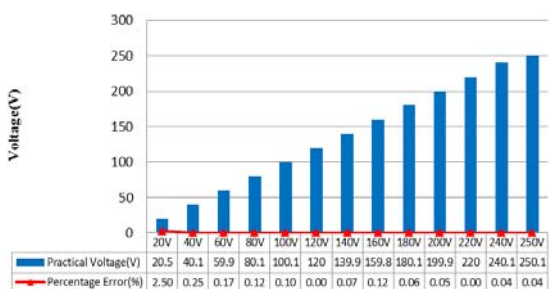
本文電流的量測使用的可拆式線性霍爾電流感測元件規格可偵測直流電流高達 70A，交流電流範圍達 50A，且具有 30mV/A 高靈敏度幾乎零遲滯現象。用於電壓路徑電壓互感元件可偵測最大交流電壓為 3000V，額定輸入與輸出電流為 2mA/2mA，非線性小於 0.2%，電壓線性範圍為 0~1000V。

電流校準部分則使用安規測試儀獲得精準 1A~20A 電流輸入以供校準，解析度可到 0.01A，最大可以量測至 40A 作為電流校正參考使用，將電流由 1A 每次間隔 1A 調到 20A，依照給定通過感測元件電流大小，便能得知目前電流值的輸出電壓。電壓校準部分使用可編程交流電源供應器提供 0~250V 輸入電壓至電壓互感元件之一次繞組，將一次繞組電壓訊號轉換為電流訊號，此時二次繞組便會產生一個相同電流，通過一待測電阻即可測得二次繞組電壓，利用此方法量測電壓進行校準。

以上述方法將其量測數據與微處理器所測得數值比較，紀錄每一級感測元件輸出電壓，透過微處理器計算靈敏度，藉以評估可拆式線性霍爾電流感測元件與電壓互感元件經由本系統轉換之線性度，並觀測換算數值與受測值之誤差，如圖 11 所示。



(a). 電流感測元件讀值。



(b) 電壓感測元件讀值。

圖 11. 感測元件線性度與誤差。

由圖 11 可得知可拆式線性霍爾電流感測元件與電壓互感元件經由微處理器所計算出的電流值與電壓值呈線性關係。微處理器量測的誤差數據也透過補償技術控制在 1% 以內，具有相當高的準確率與實用性。

4.3 溫度補償

本論文所採用的可拆式線性霍爾電流感測元件，實際上透過恆溫箱量測還是有 30% 變化。在此，透過外部溫度感測元件給予補償，減少感測元件因環境影響所測得的誤差值，提高電能量測的精準度。測試環境溫度由 -40°C 每次間隔 5°C 到 120°C 記錄輸出電壓並計算靈敏度，如圖 12 所示。

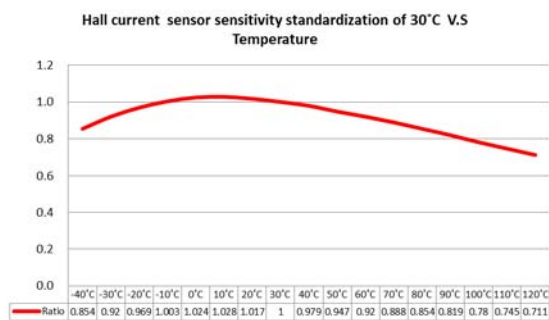


圖 12. 線性霍爾電流感測元件之溫度特性曲線。

溫度感測元件的應用領域極廣，而感測元件的種類亦多，使用上考慮工作溫度範圍，從此範圍內選用適當的感測元件。一般而言，以廉價且不失其準確度為選用的最高原則，而元件的替換性、感測元件硬體電路之複雜性、校準時間及線性度亦為考量之因素。二極體為感測元件而言，線性度及精準度都不錯，廉價且容易取得，整體工作範圍 -20°C ~ 120°C 幾乎呈現性關係，其溫度係數約 $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ，不同二極體有著不同之切入偏壓 (P-N 電晶體之順向偏壓) 溫度係數即不同，切入電壓高者溫度係數亦大。因此，挑選相同切入電壓之二極體，便可以克服替換性不良之缺點。

二極體順向偏壓並通上電流會在 PN 接面端產生約 0.6V 之壓降，此壓降會隨環境溫度之高低產生變化，此為元件之溫度係數，溫度每升高 1°C ，其 PN 接面端即下降 2mV，測試溫度變化範圍為 0°C ~ 100°C ，每次溫度間隔約為 5°C 測試兩個二極體，量取其端電壓 V_o ，進一步觀察其溫度與 V_o 之關係，如圖 13 之變化。

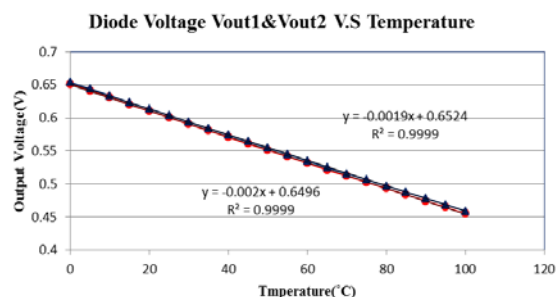


圖 13. 二極體溫度特性曲線。

五、系統實作與成品

本文所提出基於「遠端一對多節點電能監控系統」之單相電流監控模組與單相電壓監控模組，包含微處理器、電壓互感測元件及可拆式線性霍爾電流感測元件感測電路、溫度補償電路、藍芽 4.0 模組、USB 晶片、液晶顯示器、鋰電池管理充電電路及電源電路，能透過其微處理器之數位訊號處理、通訊技術進行電能運算與遠端資料傳輸監控，圖 14(a) 為多節點電流感測模組，圖 14(b) 為智慧單相電壓感測模組整體之設計，使用者可以透過智能手持裝置或電腦設備同時檢測待測物各個節點之電能狀況。



圖14(a)為多節點電流感測模組。

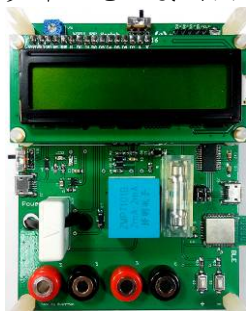


圖14(b)為智慧單相電流電壓感測模組。

本論文所提出之智慧型遠端一對多節點電錶，擷取各個隔離感測元件節點訊號，經由微處理器運算實現電能檢測。在此不採用電能偵測晶片IC進行類比訊號取樣，便能減少更多成本有效處理訊號，利用dsPIC33F內部類比轉數位硬體模塊實現同步取樣算法，快速取得電能訊號並透過DMA直接記憶體存取即時儲存取樣訊號，同步擷取電流與電壓訊號進行相位補償、濾波與雜訊處理，透過軟體測量頻率及諧波成分，無需使用額外電壓過零點轉換電路，解決了由電網中頻率波動所引起的測量誤差，並藉由多種通訊方式進行遠端監控，如USB有線監控及無線藍芽多點監控等等，相比於市面上智能電錶減少了更多電路的需求，有著更多靈活性與方便性，對於多待測物件檢測方面能更即時得到數據。考量整體系統量測之穩定性與安全性下，電壓與電流輸入訊號和量測模塊之間使用了隔離感測元件將測量模塊與電源隔離，以達到故障偵測及系統保護的目的，對於電流量測使用霍爾電流感測器做為系統開發，反應時間快、量測磁場範圍廣、頻寬大，克服傳統型電流互感器有特定的額定頻率的弊端，並解決相位量測較大的誤差，此外，傳統型電流互感器也因體積較為龐大之原因，更局限了智慧型電力系統的開發，表1為相關智慧電錶設計比較。

由表1可發現本文所提出之智慧電錶相較於其他論文之電錶有著更多優點。使用隔離

霍爾感測元件且電流量測範圍大，對於輸出較大的電流量測設備能更安全進行檢測，且多種通訊界面能讓使用者更方便去替換，有線串列通訊界面使用USB介面取代傳統大體積的RS232介面，無線介面更是使用了低功耗藍芽4.0進行遠端多節點設備的溝通。

本文將Android作業系統在手機上做出多功能連線App程式，這個軟體能夠利用邏輯敘述把多個一對一的藍芽連線轉述成一對多連線。圖15為六個節點藍芽裝置側視圖，主要由一個手機啟動App程式，並把它當作伺服器端，再利用藍芽4.0裝置搜尋其他周邊藍芽裝置，這些周邊藍芽設備都可同時加入此手機當作發射端，則此伺服器即可同時與多個藍芽裝置連線並同時接收各個周邊藍芽裝置傳輸資料。裝置直接連接本系統所開發裝置，顯示回傳電能訊息，測試電壓、電流等電能讀值功能是否正常，並透過遠端監控多節點之間資料的傳輸。

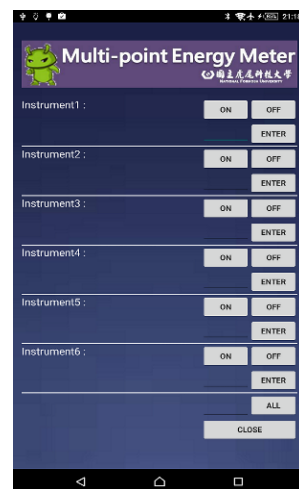


圖15. 遠端智慧監測平台測試圖。

五、結論

本文基於個人區域網路通訊技術實現遠端一對多節點電能監控系統，本文提出之系統以微處理器作為整體系統核心，並利用隔離式感測器量測讀取電流值與電壓值，達成電能參數編程與資料處理，檢測員可以更方便透過智慧型裝置，輕易且安全的監控廠房內所有的精密機具或是半導體機台線路個別使用的狀況，進一步避免勞安事件的發生，無需等到機台故障，就能夠不斷電情況下提早發現工具機主要線路的異常訊號，透過行動裝置或電腦設備監控多點線路量測的電能狀況。本系統之電

流電壓量測不採用電能偵測晶片做電能參數運算，而是直接對波形取樣電流訊號與電壓訊號，經由微處理器的ADC經過DAM通道直接取樣換算校準後，可發現電流與電壓量測結果都能控制在1%以內的誤差，且內部採用FFT運算處理原始信號，不僅可計算頻率，還可針對諧波信號進行分析，相比於外面市售之電能

感測模組，具有相當高的準確性、變動性及替換性，對於電能運算更能有效提高準確性與可信度。

表 1. 相關智慧電錶設計功能比較

	本論文電錶	Microchip 單相電表 [9]	[10]	[11]
電表型式	單相三線	單相兩線	單相兩線	單相兩線
電壓規格	0~250V	220V	-	200V
電流規格	5A~50A	5A~60A	-	5A
頻率規格	50/60Hz	60Hz	-	-
通訊方式	USB、BLE	RS-232、USB	RS-485、Zigbee	無
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1.多種通訊界面 2.有線/無線監控 3.不須使用電能偵測晶片 IC 4.可計算頻率 5.隔離電源設計 6.多節點量測 7.電流量測範圍大 	<ol style="list-style-type: none"> 1.多種通訊界面 3.電流量測範圍大 	<ol style="list-style-type: none"> 1.多種通訊界面 2.有線/無線監控 自動斷電裝置 3.多點傳輸 	<ol style="list-style-type: none"> 1.多種電能數據量測
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 10 位元 ADC 解析度 	<ol style="list-style-type: none"> 1.非隔離電源設計 2.無遠端監控設備 3.電能偵測晶片 IC 成本高。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.非隔離電源設計 2.電能偵測晶片 IC 成本高。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.無遠端監控設備 2.電能偵測晶片 IC，成本高。 3.八位元處理器 4.8 位元 ADC 解析度太低
成本分析	MCU+隔離感測元件+通訊介面	MCU + 電能晶片+非隔離感測元件+通訊介面	MCU + 電能晶片+非隔離感測元件+通訊介面	MCU + 電能晶片+非隔離感測元件+通訊介面

誌謝

1173-1176, 2012.

本案承科技部提供研究經費補助，計畫編號 MOST 103-2622-E-150-015-CC3，特此誌謝。

參考文獻

- [1] 台灣經濟研究院，“產業結構優化--三業四化製造業服務化、服務業科技化與國際化、傳產業特色化”，2012。
- [2] 藍芽 4.0，“維基百科-藍芽”，<http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>, 2014。
- [3] Cristaldi, L., Ferrero, A., Lazzaroni, M., and Ottoboni, R., “A Linearization Method for Commercial Hall-Effect Current Transducers,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, pp. 1149-1153, 2001.
- [4] 何學農，現代電能質量測量技術，美國福祿克公司，美國，2011。
- [5] 陳佑霖，“以 Sketchup 為基礎之家庭能源管理系統人機介面設計”，國立台北科技大學，碩士論文，2013。
- [6] Kai-Ling Huang，“針對建立於藍芽 4.0 之動作辨識應用之電源管理方法”，國立清華大學資訊工程學系，碩士論文，2013。
- [7] Microchip Inc.，“dsPIC33FJ32GP302/304, dsPIC33FJ64GPX02/X04 and dsPIC33FJ128GPX02/X04 Data Sheet”，2011.
- [8] Dan, T., Yungang, B., Weiwu, H., and Mingyu, C., “DMA cache: Using on-chip storage to architecturally separate I/O data from CPU data for improving I/O performance,” IEEE 16th International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA), pp. 1-12, 2010.
- [9] Microchip Inc.，“PIC18F87J72 Single-Phase Energy Meter Reference Design User's Guide”，2011.
- [10] 吳家勇，“配合需量反應之智慧型數位單相電表規劃與設計”，國立高雄應用科技大學，碩士論文，2011。
- [11] Yongjun, L. and Xiaorong, X., “Design and Implementation of the Minitype Electric Energy Meter Field Calibrator Based on MCP3906,” Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE), pp.