

知識物件上傳表

計畫名稱：高效能照明系統技術開發及應用推動計畫

上傳主題：功率計量技術分析

提報機構：工業技術研究院

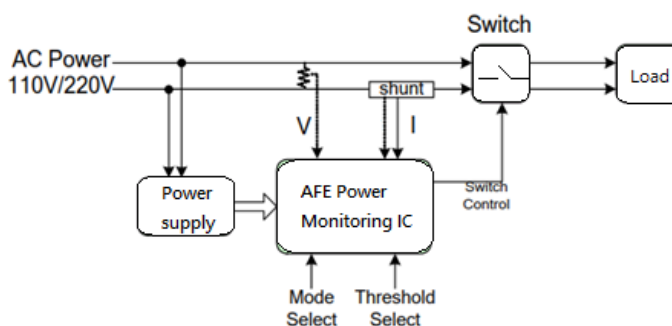
提報時間：110年 12 月 10 日

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1.是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input checked="" type="checkbox"/> 1.國內 <input type="checkbox"/> 2. 國外：(註明國家名稱)
能源業務	<input type="checkbox"/> 1.能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) <input type="checkbox"/> 2.石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3.電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) <input type="checkbox"/> 4.新及再生能源 <input checked="" type="checkbox"/> 5.節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) <input type="checkbox"/> 6.其他
能源領域	<input type="checkbox"/> 1.能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2.能源安全 <input type="checkbox"/> 3.能源供需 <input checked="" type="checkbox"/> 4.能源環境 <input type="checkbox"/> 5.能源價格 <input type="checkbox"/> 6.能源經濟 <input type="checkbox"/> 7.能源科技 <input type="checkbox"/> 8.能源產業 <input type="checkbox"/> 9.能源措施 <input type="checkbox"/> 10.能源推廣 <input type="checkbox"/> 11.能源統計 <input type="checkbox"/> 12.國際合作
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1.建言(策略、政策、措施、法規) <input checked="" type="checkbox"/> 2.評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) <input type="checkbox"/> 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 <input type="checkbox"/> 4.其他：
重點摘述	<p>為提升照明系統裝置端的智慧功能，以降低照明系統平台之區域資訊處理流量。功率計量技術能反應終端照明電源的使用狀態與健康狀態，支援管理系統執行節電策略與照明系統狀況監測，未來，因應新興智慧建築的功能需求，智慧照明系統除了節電與優質光環境的訴求之外，還能針對終端使用者的操作習慣與使用狀態進行大數據收集分析，以達照明策略規劃與主動式調整。另一方面，電源功率計量技術亦可擴展至照明以外的應用，包括對終端設備使用之人、事、物有感測或狀態偵測的負載，如空調、車載充電站、家庭用電及植物工廠等場域，使系統能在節約能源的條件下，更舒適多元且有效調控具智慧功能的電源設備。</p>
詳細說明	<p>既有功率計量技術以智慧電表或功率監測系統為代表，其功率計量方式是直接擷取市電輸入端之電壓與電流訊號，再利用 MCU 進行即時功率與功因計算。由於市電為交流系統，其輸入端的電壓與電流均為不斷變化的訊號，故微控制器取樣、計算必須相當快速，還要能累計足夠時段的數據，以計算其功因、頻率等，導致成本過高，無法作為電源內建功能的設計方式。目前現有功率計量技術分為兩大架構，以下針對四種常用實現方式說明：</p>

A. 類比前端功率計量架構

此技術為目前智慧電錶產品常用的計量法，現有實現方法有二，一是使用類比前端(Analog Front End, AFE)功率計量專用 IC，二是使用混合訊號處理器，作為運算核心，其計量誤差低且附加功能多，但成本也較高。

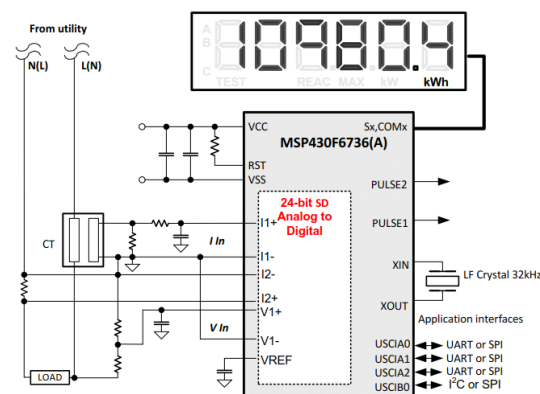
AFE 功率計量 IC 可量測輸入電源之電壓電流均方根(V_{rms} 與 I_{rms})、實功率(P_{in})、功率因數(PF)以及在線頻率(f_{line})，系統功能方塊圖如圖一 [1]。因為該功率計量 IC 的電源係由外加的電源轉換器供應，使其電源效率不佳，又其具數位運算與通訊功能，功耗較高。因此，此技術架構較適合運用在功率較大的負載，或是區域迴路的功率總計量，較不適用於本計畫 LED 照明電源的功率計量與狀態監控。



圖一. 類比前端功率計量架構

B. 高階訊號處理器之功率計量架構

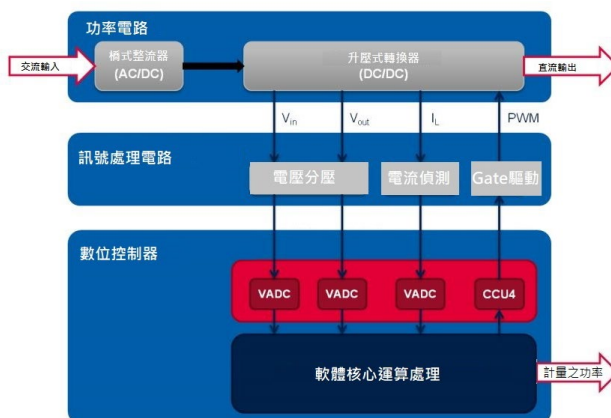
交流電源端功率計量架構計算實功率的方法是以取樣瞬時電壓與電流訊號，再以微控制器內的數位運算，將電壓值與電流值相乘後，進行積分與平均，如式(1)以求得實際功率。因此取樣電路的解析度與微控制器的運算能力規格決定計量誤差大小。以高階訊號處理器為例，如圖二. [2-3]，其內部類比數位轉換為 $\Sigma\Delta$ 架構(Sigma-Delta Analog to Digital Converter, SD ADC)，適用於差動訊號取樣，且解析度高，誤差雖低，唯成本較高，僅適用在高階應用產品或一般功率計儀器。其中， K_v 、 K_i 、 K_p 為比例因子，代表輸入電氣資訊的大小值與訊號轉換倍率，也作為校正用之係數，以降低功率計量誤差。



圖二. 高階訊號處理器之功率計量架構

$$V_{rms} = K_v \times \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{sample count}} v^2(n)}{\text{sample count}}}, I_{rms} = K_i \times \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{sample count}} i^2(n)}{\text{sample count}}}, P_{in} = K_p \times \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{sample count}} v(n) \times i(n)}{\text{sample count}}} \quad (1)$$

國際 IC 大廠如 Analog Device、Infineon、TI 等，皆有整合功率計量功能之數位功率因數校正 IC 產品[4-6]，用於傳統升壓型功率因數校正電路，操作功率為數百瓦至千瓦等級，應用領域屬於工業用或運算伺服器用之電源，系統功能如圖三. [4]。此系統架構用於非隔離型功率因數校正(Power Factor Correction, PFC)電路，表示所有回授訊號應與 PFC 電路共地，可使訊號處理電路簡化，並提高回授精確度，降低計量誤差。

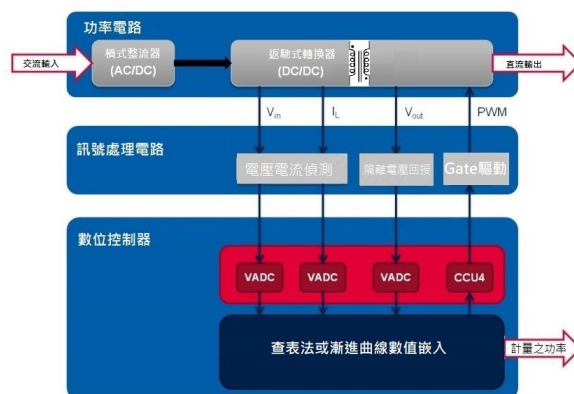


圖三. 具功率計量功能之數位 PFC IC 系統

由於數位 PFC 控制器需同時進行輸出電壓控制調節以及功率計量，使得升壓式 PFC 電路的輸出與輸入電壓皆需回授，而為了增加頻率響應速度，維持輸出電壓穩定，抑制突波與振盪之產生，其電流回授機制之頻寬設計較大。因此，數位核心的運算能力須非常強大，以同時滿足電壓回授控制機制(voltage loop control)、電流回授控制機制

(current loop control)以及功率計量功能。市面量產 IC 常採用 DSP 或 ARM 等級的 MCU，作為數位 PFC IC 的控制核心，其成本非常高昂，單價約 NTD 200元以上，不適用於本研究。

除了 IC 內部數位單元的規格與成本考量之外，LED 照明電源架構亦為影響計量誤差和成本的重要因素。目前 LED 照明電源產品的數位 PFC 電路架構係以返馳式轉換器為主，系統架構如圖四，其數位 PFC 控制器的輸出電壓回授控制訊號需利用光耦合器進行隔離，回授響應速度稍慢。由於室內照明電源之負載輕且切換頻率不高，電流回授之頻寬要求也不高，使得低階數位 PFC IC 的運算能力仍足以支援，成本得以降低。雖然數位 PFC IC 之回授已含返馳式轉換器的輸入電壓和一次側電流回授，但此架構若要導入功率計量功能，其所需之乘法與積分平均功能，其運算能力與取樣頻寬仍無法滿足低誤差數值運算的要求。



圖四. 既有應用於照明電源之數位 PFC IC 功率計量方式

參考文獻

- [1] Prolific, “Single Phase, Power/Energy Metering IC with SPI Interface,” PL7223A1FIG7P1 datasheet, Nov. 2012.
- [2] Texas Instruments, “MSP430AFE2x3, MSP430AFE2x2, MSP430AFE2x1 Mixed-Signal Microcontrollers,” MSP430AFE2x3 datasheet, Nov. 2010 [Revised June 2018].
- [3] Texas Instruments, “Implementation of a Single-Phase Electronic Watt-Hour Meter Using the MSP430F6736(A),” Application Report, May 2012 [Revised Aug. 2015].
- [4] Analog Devices, “Digital Power Factor Correction Controller with Accurate AC Power Metering,” ADP1047/ADP1048 datasheet, 2011.
- [5] Infineon, “Digital Power Factor Correction using XMC4400,” Application Guide, June 2013.
- [6] Texas Instruments, “Two-Phase Interleaved PFC Converter w/Power Metering Test Results,” TI Designs, April 2014.