

# Design Group D17-067

## 具光能擷取與電池輔助之單電感雙輸入 雙輸出電源管理單元

Single-Inductor Dual-Input Dual-Output Power Management Unit for Battery-Assisted Photovoltaic Energy Harvesting

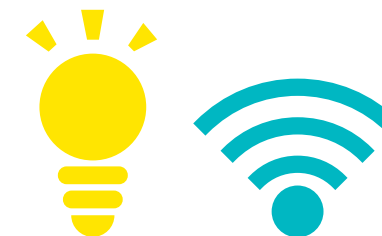
隊伍名稱 人類最後希望  
The last hope of humanity  
隊長 廖珮君 / 交通大學電子工程研究所  
隊員 李卉瑄 / 交通大學電子工程研究所  
劉季瑋 / 交通大學電子工程研究所

指導教授  
陳柏宏  
交通大學電子工程學系

研究領域  
電源積體電路設計、能源擷取電路設計、  
無線電力傳輸設計。



東京大學電機博士、目前任職交通大學電子所副教授。過去曾在美國加州大學柏克萊分校擔任訪問學者，並發表數篇論文於 ISSCC、VLSIC 等頂尖國際會議。曾獲得交通大學「校優良教學獎」、「TSIA 半導體獎：具博士學位之新進研究人員」等肯定。曾擔任 IEEE SSCS Taipei Chapter Vice Chair、IEEE A-SSCC TPC member。



### 作品摘要

近年來，隨著物聯網產品的蓬勃發展與穿戴式裝置的高度商品化，能源的需求大幅度的提升。物聯網裝置及穿戴式元件的應用範圍遍及日常生活、商業、環境監察等各大範疇，提供即時監察，或是收集和分析各個連網物體的資訊。為了確保產品操作的穩定性，產品通常藉由電池提供穩定電力；然而，頻繁更換數以億計的物聯網裝置需要龐大的金錢與人力，且廢棄電池造成的汙染也是一大隱憂。因此，可永續利用的獵能技術成為延長電池壽命的重要技術。

在各種獵能技術中，由於光能、熱能、震動能的製程較成熟且容易從環境取得，因此成為獵能技術的優先考量。物聯網 / 無線感測器產品不論在室內或室外，大都可受到光的照射，因此光能擷取具有高度的發展潛力。然而，光能發電提供的電壓會隨著元件面積大小及光照量不同而變化，因此需要利用直流 - 直流轉換器將不穩定的輸入電壓轉換成穩定的輸出電壓提供後端電路使用。若能結合電池與光能擷取，可使系統在光照充足時利用太陽能提供能量，只有光照量不足時才利用電池供電，藉此來延長電池壽命。

在物聯網等低功率消耗系統中，數位電路通常操作在次臨界區（0.4-0.6 伏）以降低功率消耗；低電壓類比電路如射頻發射電路通常需操作在 1-1.2 伏。因此，本作品結合電池和光能擷取，搭配低電壓低功率技術，實現具光能擷取與電池輔助之單電感雙輸入雙輸出電源管理單元。作品的輸入電源為小體積之鋅 - 空氣電池以及室內太陽能電池，並同時提供兩個輸出電壓，其電壓值為 0.4-0.6 伏與 1-1.2 伏，分別提供給低功率的數位電路與低電壓的高頻發射器使用。

本作品提出之單電感雙輸入雙輸出直流升降壓轉換器架構如圖一所示，主要核心電路包含六個電晶體開關與控制電路。為了使系統操作在不連續導通模式並避免逆電感電流產生，因此電路包含精確的零電流偵測器（ST-ZCD）。最大功率點追蹤電路（MPPT）用來偵測光伏電能的電壓，並根據輸入電源調整輸出充電路徑。

此外，作品提出創新的連續脈衝省略調變（Sequential Pulse-Skip Modulation, SPSM）技術及二維可適應性導通時間脈波產生器（Adaptive On-Time Pulse Generator, AOT），提升輕載轉換效率以及降低輸出電壓漣波（Ripple）。藉由連續脈衝省略調變，可有效提升輸出間的交叉調節效應，提升輕載時系統轉換效率。利用二維可適應性導通時間脈波產生器，可根據不同的輸入、輸出電壓自動調整導通時間，藉此有效降低電壓改變時的輸出電壓漣波（Ripple）。此作品利用台積電 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 製程實作並量測。量測結果顯示利用連續脈衝省略調變使電路在中載及輕載下實現較高的轉換效率，在 0.5  $\mu\text{A}$  到 1 mA 的寬附載電流範圍（ $I_{\text{LOAD}}$ ），可達到 92.5% 的最高效率。此外，藉由二維可適應性導通時間脈波產生器可使輸入電壓在 0.55-1.4 伏且輸出電壓 0.4-0.6 伏時，平均輸出電壓漣波與輸出電壓比控制在 2.3%。本作品在輕載時能有較高的轉換效率，並在輸入、輸出電壓變化時有較低的輸出漣波，適合整合於物聯網裝置、穿戴式元件等應用中。

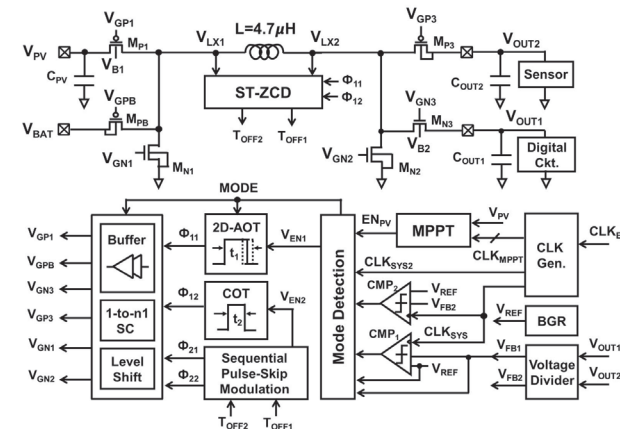


圖 1. 本作品所提案之單電感雙輸入雙輸出升降壓轉換器系統架構圖

### Abstract

In recent years, the demand of energy increases for the development of internet-of-thing (IOT) and the commodification of portable/wearable devices. The applications of the devices extend to various fields, such as daily life, commercials and environmental supervision. As a result, they can provide instant data to analyze and get further information. Unfortunately, since the small volume battery cannot supply the system for a long time. Therefore, the battery replacement of the large number of devices is a critical concern. One way to prolong the lifetime of the batteries is to harvest energy from the environment such as light, heat, and vibration energy. Since the harvested power is higher than other energy transducers, we prefer to choose photovoltaic (PV) cell in this work.

To guarantee the reliability of the system, a hybrid supply system that combines battery with light energy harvesting is a solution. In the low-power consumption system such as IOT, the digital circuit always operates under the sub-threshold region where the supply voltage is 0.4-0.6V to reduce the power consumption. The low power analog circuit such as RF circuit operates under the supply voltage of 1-1.2V. As the result, a single-inductor dual-input dual-output power converter is proposed.

In this work, the input source of the converter includes the zinc-air battery and the solar cell. This work provides two output voltages including 0.4-0.6V for low power digital circuit and 1-1.2V for low supply voltage RF circuits. The system architecture is shown in Fig. 2.

In this work, a novel single-inductor dual-input dual-output is proposed. This work proposes the sequential pulse-skip modulation (SPSM) to minimize the

output cross regulation with high medium-to-light load efficiency. Besides, this work proposes two-dimensional adaptive on-time (2-D AOT) control to provide different on-time according to variable input/output voltage. As a result, the output voltage ripple can be reduced. This design is fabricated in 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS process. The measurement results show that the peak efficiency dependence of the proposed converter is 92.5% with a load range from 0.5  $\mu\text{A}$  to 1 mA. Besides, the converter maintains the output voltage ripple at an average of 2.3% under a 0.55-1.4V input voltage range and 0.4-0.6V output voltage range. This work with higher conversion efficiency at the light load and lower output voltage ripple at variable input/output voltage is suitable for IoT applications and portable devices.

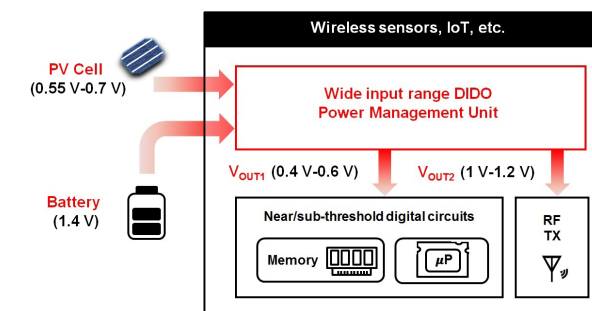


Fig 2. The system architecture of the proposed digital buck converter