

DI5-014

A Wide Output Power Range Tri-mode Digital Buck Converter for Photovoltaic Energy Harvesting

用於太陽能源擷取之寬輸出功率範圍三模數位電源管理晶片設計

隊名 神聖的阿波羅請賜給我力量

隊長 李卉瑄 / 交通大學電子工程研究所

隊員 吳仲祥 / 交通大學電子工程研究所

林凱鈞 / 交通大學電子工程研究所

作品摘要

物聯網裝置及穿戴式元件提供了即時監察，收集和分析各個連網物體的資訊，可應用於日常生活、商業、環境監察等各個不同範疇。隨著物聯網及穿戴式裝置的商品化，數以億計的電池更換將造成極大的不便，也對環境造成嚴重的污染。因此，從電池以外的能源擷取能量，延長電池使用時間，成為實現物聯網的關鍵技術。其中，可永續利用且低汙染的再生能源近年受到各方矚目。藉由擷取太陽能、熱能、震動等環境能源，提升電池續航力，可讓物聯網裝置及相關電子產品更為普及。利用再生能源做為電源不但可有效的延長系統續航力，亦有機會實現無電池系統。在常用的再生能源當中，太陽能電池具有較大可擷取功率及方便取得之優點。本作品設計一個應用於太陽能電池之高效率低電壓直流 - 直流電源轉換器，將太陽能電池輸出電壓 (0.55V ~ 0.65V) 轉換為一穩定電壓 (0.35V ~ 0.5V)，提供低電壓操作之低功耗數位電路使用。其系統示意圖如圖一所示。

本作品提出創新的三模式數位電源降壓器，包含脈波寬度調變、脈波頻率調變，及非同步導通模式，有效提升轉換效率以及輸出電流操作範圍，提供物聯網裝置以及穿戴式元件使用。在重載時利用數位脈波寬度調變機制，讓電路可在低電壓下實現高轉換效率；在輕載時利用頻率調變模式，搭配提案的自應式數位零電流偵測器，可實現 70% 以上的轉換效率；在超輕載下，利用非同步模式，以寄生二極體導通下橋並關閉零電流偵測器，可將系統操作範圍延伸至毫微瓦等級。此作品利用台積電 0.18 μm CMOS 製程實作並量測。量測結果顯示此晶片最高可達 92% 的轉換效率，不僅適用於 0.55V~0.7V 之太陽能電池外，也能涵蓋 1V 左右的電池操作電壓。在低電壓應用中，此三模式電源降壓轉換器能達到目前最低輸出功率之 50nW 以及二十萬倍輸出範圍，為目前輸出功率範圍最廣之低電壓直流 - 直流降壓器，適合整合於物聯網裝置、穿戴式元件等應用中。

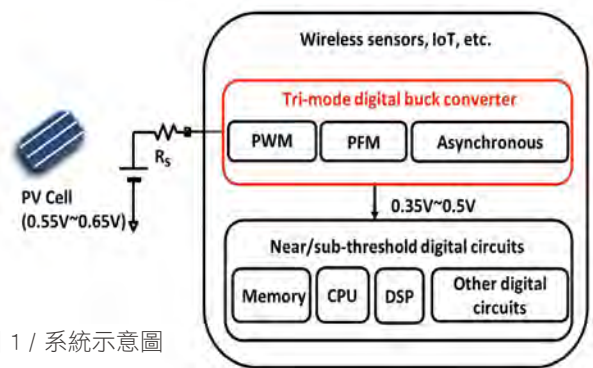


圖 1 / 系統示意圖

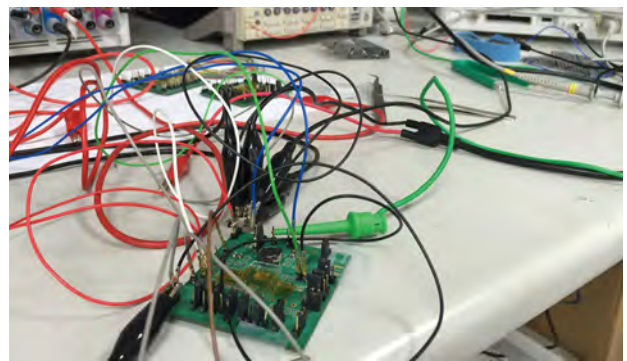


圖 2 / 作品照 1

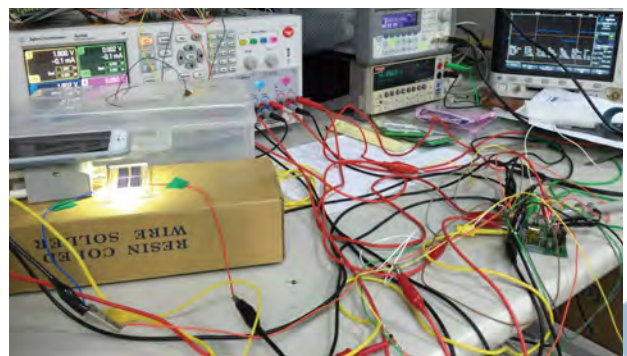
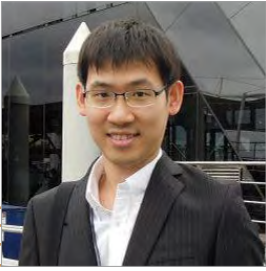


圖 3 / 作品照 2



指導教授 陳柏宏 / 交通大學電子工程學系

2005 年畢業於中山大學，2007 年交通大學碩士班畢業，2012 年於東京大學取得電機工程學博士，同時擔任博士後研究員。2012 年始進入交通大學電子工程學系擔任助理教授。

研究領域

電源 IC 設計、能源擷取電路、無線電力傳輸、低電壓電路設計。

Abstract

The development of internet-of-thing (IoT) pushes increasing demand for portable/wearable devices. The devices can monitor the environment, collect and analyze the information from the devices, and send the data back to the database. However, replacing the battery of the large number of devices is a critical issue. Harvesting energy from the ambient environment such as light, heat, and vibration energy, provides a solution to prolong the battery lifetime, or to realize a battery-free system. Photovoltaic (PV) energy harvesting is one of the most promising solutions because of its relatively higher power density. To effectively power the devices by PV cell, a low-voltage and low-power DC-DC converter that converts the PV cell voltage (0.55V~0.6V) to a regulated voltage (0.35V~0.5V) with high efficiency is required.

In this work, a novel tri-mode digital buck converter is proposed to power the energy-efficient digital circuits. By integrating pulse width modulation (PWM), pulse frequency modulation (PFM), and asynchronous mode (AM), the minimum output level range can be extended to nW level with high efficiency. The system architecture is shown in Fig. 1. At heavy load, digital pulse width modulation is adopted so that the conversion efficiency is high with low voltage operation. At light load, pulse-frequency modulation with digital self-tracking zero current detection (ST-ZCD) is applied to avoid the reverse current and achieves higher than 70% efficiency at 400nW output power. At ultra-light load, asynchronous mode is activated to minimize the controller power by conducting current through the body diode of NMOS power transistor. The proposed asynchronous mode further extend the output power range down to 50nW. This design is fabricated in 0.18 μ m CMOS process. The measurement results show that the maximum conversion efficiency of 92% is achieved with output power ranging from 50nW to 10mW. It is suitable for both 0.55-V~0.7-V photovoltaic cell and the 1-V battery operation. Comparing to the state-of-the-art low-voltage buck converters, the proposed tri-mode buck converter achieves the lowest output power and a widest output power range to date with

smaller inductor size, which is suitable for portable devices and IoT applications.

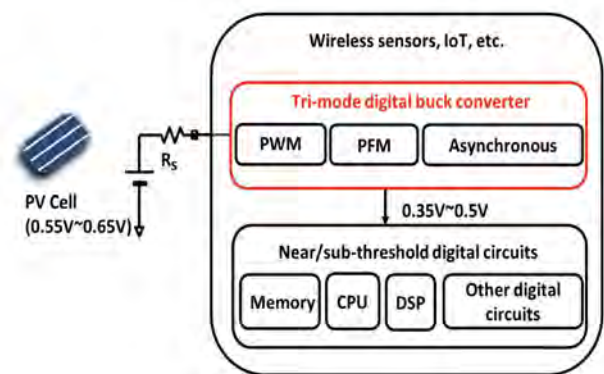


Fig.4 /

The system architecture of the proposed digital buck converter.