

MPPT 제어 기능을 갖는 이중 입력 에너지 하베스팅 충전기

정찬호 · 김용승 · 정효범 · 양민재 · 윤은정 · 유종근

인천대학교

A Dual-Input Energy Harvesting Charger with MPPT Control

Chan-ho Jeong · Yong-seung Kim · Hyo-bum Jeong · Min-jae Yang · Eun-jung Yoon ·

Chong-gun Yu

Incheon National University

E-mail : chanho8735@icloud.com

요 약

본 논문에서는 진동에너지와 빛에너지를 이용한 MPPT 기능을 갖는 이중 입력 충전기 회로를 제안한다. 빛에너지는 photovoltaic cell로부터 수확하고, 진동에너지는 piezoelectric cell로부터 수확하여 각각 커패시터에 저장된다. Charger 블록에 의해 배터리 전압이 승압되며 이때 두 가지 에너지원이 모두 입력으로 사용되어 충전하게 된다. 승압하는 방법은 DC-DC boost converter를 사용하였으며 시간 구간에 따라 하나의 인덕터를 공유하는 방법을 적용하였고, 진동에너지와 빛에너지를 입력으로 사용하는 비율은 8:1로 설계하였다. 제안된 회로는 0.35um CMOS 공정으로 설계하였고 배터리 관리 블록에 의해 배터리 커패시터의 충전 상태가 제어되며 최대 3V의 전압까지 충전할 수 있다. 설계된 회로의 최대 효율은 88.56%이며, 칩 면적은 패드를 포함하여 1230um×1330um이다.

ABSTRACT

This paper describes a dual-input battery charger with MPPT control using photovoltaic and piezoelectric energy. Each energy is harvested from photovoltaic cells and piezoelectric cells and is stored to each capacitor. The battery voltage is boosted by charger block and two energy sources are used as input to charge battery capacitor. A DC-DC boost converter is designed to boost the battery voltage, and inductor sharing technique is employed such that only one inductor is required. The time division ratio for piezoelectric cell and photovoltaic cell is set to 8:1. The proposed circuit is designed in a 0.35um CMOS process technology. The condition of battery capacitor is managed by battery management block and the battery voltage can be boosted up to 3V. The maximum efficiency of the designed entire system is 88.56%, and the chip area including pads is 1230um×1330um.

키워드

Energy Harvesting, Photovoltaic Energy, Vibration Energy, MPPT, Charger, Battery Management

1. 서 론

에너지 하베스팅(Energy-Harvesting) 기술은 자연계에 존재하는 에너지를 전기 에너지로 변환하여 사용하는 기술로 친환경적이라는 점에서 매우 주목을 받고 있다. 최근 관련 기술의 성장과 연구로 인해 IoT 기술 및 WSN(wireless sensing node) 등의 주기적으로 배터리를 갈아 주기 어려운 곳에 대체 전력 자원으로서 이용되고 있다.[1] 또한

이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0021112). IDEC 지원에 의해서도 일부 수행되었음.

빛 에너지 뿐만 아니라 열에너지, 진동에너지 등 다양한 자연계의 에너지를 사용하고 있으며 특히 BSN(body sensor network)에 인공장기의 에너지원으로 진동에너지가 적용되고 있고 이외에도 여러 분야에 사용되고 있다.[1] 하지만 에너지 수확의 문제점은 에너지 공급원이 주변 환경에 영향을 받는다는 것에 있다. 이를 해결하기 위해 에너지원을 다양화하여 빛에너지, 열에너지, 진동 에너지를 함께 수확하는 다중 에너지 수확에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.[1-3] 본 논문에서는 기존의 에너지 수확이 갖는 문제점을 해결

하기 위해 빛과 진동에너지를 이중 입력으로 사용하여 배터리를 충전 시킬 수 있는 회로를 설계하였다. 각 에너지원의 특성을 고려하여 빛과 진동에너지의 수확 비율을 8:1로 설정하였고 하나의 인덕터를 공유하는 방식을 적용하였다.[1-2] 또한 에너지 수확의 효율을 최대 높이기 위해 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 기능을 적용하였다.[4]

II. 회로 설계

그림 1은 본 논문에서 제안하는 MPPT 기능을 갖는 이중 입력 에너지 하베스팅 회로(A Dual-Input Energy Harvesting Charger with MPPT Control)의 전체 블록도이다. 회로는 Charger, MPPT Controller, EN Generator, Pulse_dual, Battery Management, BGR biasCurrent로 구성이 되어 있다. 이 회로는 MPPT 제어 기능을 갖고, 배터리의 충전된 전압에 따라 Battery Management가 Charger를 ON/OFF 시켜 배터리의 충방전을 관리한다.

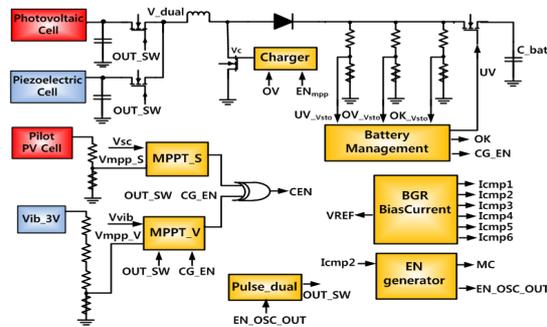


그림 1. MPPT기능을 갖는 이중 입력 에너지 하베스팅 회로

2.1 Dual Input (PV, PZT, FWR)

본 설계에서 사용된 Photovoltaic Cell은 600mV의 개방 회로 전압과 5mA의 단락 회로 전류 특성을 갖는다. 회로 내에서 PV Cell의 등가회로는 다이오드를 병렬로 연결하여 구성하였고, 출력 단에 100nF의 커패시터를 사용하였다. PZT 소자는 3V의 개방회로 전압과 300uA의 단락 회로 특성을 갖고 80Hz의 주파수를 갖는다. 또한 PZT 소자는 노튼 등가 회로로 구성된 Unit Cell을 5개 병렬로 연결하여 사용하였다. PZT 출력은 AC신호이기 때문에 DC 신호로 바꿔 주어야한다. 해당 정류기는 3V의 peak 전압을 갖는 교류 전압을 3V의 직류전압으로 바꾸어준다. 그림2에서와 같이 회로의 역전류를 방지하기 위해 Active Diode를 이용하여 설계하였고, Diode는 MOSFET으로 구성하였다.

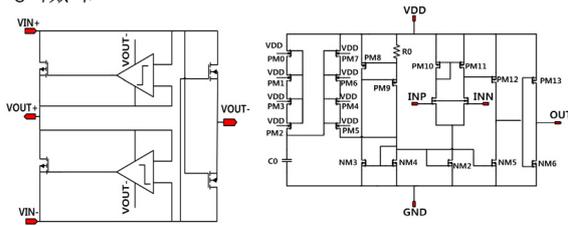


그림 2. FWR & FWR Comparator

2.1.1 MPPT_S

그림 3은 MPPT_S의 회로이다. PV cell은 최대 입력 전압의 0.6-0.8배가 되는 지점에서 최대 전력 효율을 보여준다. 이 point를 찾기 위해 Pilot Solar Cell에서 전압을 받아 저항 divider를 사용하여 0.7이라는 비례 상수 k를 만든다. 이렇게 만들어진 전압 V_{mpp_S} 는 비교기의 -입력으로 들어가고, + 입력 단자에는 V_{sc} 전압이 인가된다. 입력을 dual로 사용하기 때문에 MPPT_S와 MPPT_V를 번갈아 사용해야 하므로 효율적 측면을 고려하여 각 조건에 따라 Enable 기능을 구현하였다. V_{sc} 의 전압이 더 높을 때 비교기가 high를 출력하여 charger를 동작시킨다.

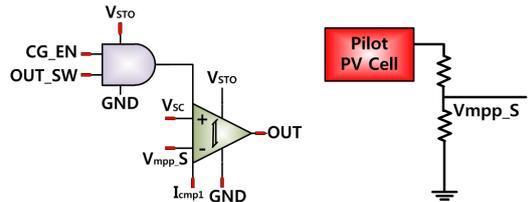


그림 3. MPPT_S 블록도

그림 4. Pilot PV Cell

2.1.2 MPPT_V

그림 5는 MPPT_V의 회로이다. Vibration은 최대 입력 전압의 0.5배가 되는 지점에서 최대 전력 효율을 보여준다. 저항 divider에 의해 만들어진 전압 V_{mpp_V} 는 비교기의 +입력으로 들어가고, - 입력 단자에는 375mV의 V_{vib} 전압이 인가된다. 특히 Vibration은 PMOS 입력 스위치를 사용하므로 Enable 신호 입력 단에 inverter를 추가하였다. V_{mpp_V} 의 전압이 더 높을 때 비교기가 high를 출력하여 charger를 동작시킨다.

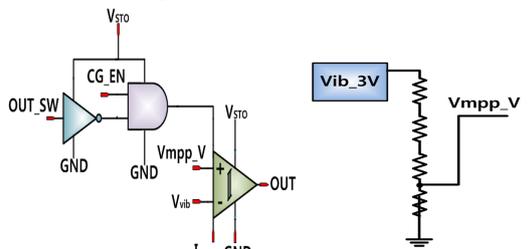


그림 5. MPPT_V 블록도

그림 6. V_{mpp_V}

2.2 Charger

그림 7은 Charger의 블록도이다. Charger의 경우 V_{STO} 전압이 승압되면 EN신호가 charger에 입력되고 PMOS 스위치가 on 되어 bandgap ref (이하 BGR)부터 전류가 복사되어 Oscillator로 전해진다. 그 후 MPPT_S와 MPPT_V에서의 출력과 Battery management의 hysteresis 비교기가 V_{REF} 와 V_{STO} 의 전압을 비교하여 V_{STO} 의 전압이 V_{REF} 전압보다 작으면 charger를 On 시키고 V_{STO} 전압이 점점 증가하게 되면서 3V가 넘어서면 전압 분배된 전압이 V_{REF} 전압과 비교되어 OV신호가 Off가 되어 Charger가 Off 된다.

Oscillator는 Current starve inverter를 사용하여 전류소모와 주파수가 일정하도록 하였다.[4] 또한 주파수는 최적의 효율로 승압하기 위한 주파수를 위해 inverter를 4단으로 연결하여 원하는 주파수를 얻도록 하였고 주파수의 Duty는 D-flipflop을 이용하여 50%의 비를 일정하게 유지하게 하였다.[4] 그 뒤에 달리 Buffer의 경우는 큰 size의 NMOS 스위치를 구동하기 위해서 사용하였다. Buffer의 비는 1:4로 하였다.

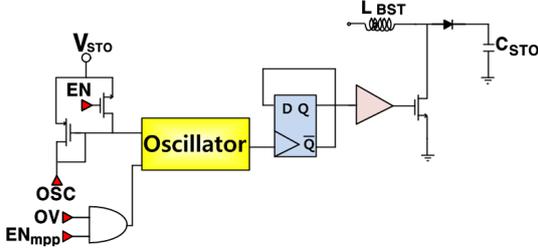


그림 7. Charger 블록도

2.3 EN Generator

그림 8은 EN Generator의 블록도이다. EN Generator는 Bandgap reference를 이용하여 각 블록으로 전류를 분배하고, MC 신호를 발생 시켜 각 회로들을 주기적으로 ON/OFF 하여 소비전류를 최소화 하는 역할을 하고, VSTO가 1.6V가 될 때, Charger를 ON하는 신호를 발생 시킨다. Oscillator, 7bit Counter, 3-Nor gate, DFF로 구성되어 있다. EN Generator는 Battery management를 동작시키는 MC신호를 발생한다. OSC에서 발생하는 주파수는 OUT_SW를 ON/OFF 하는 신호로 사용되어, Solar Energy와 Vibration Energy를 선택적으로 사용할 수 있게 한다.

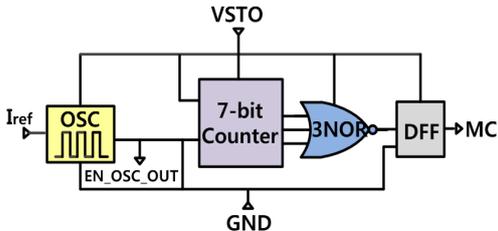


그림 8. EN Generator 블록도

2.4 Pulse_Dual

그림 9는 Pulse_dual의 블록도이다. Pulse_Dual은 두 입력 스위치를 컨트롤 하는 신호를 출력한다. 3bit Counter와 3NAND gate, Buffer로 구성되어 있으며 EN Generator의 OSC 출력을 입력으로 사용한다. Digital block들을 사용하여 pulse의 high와 low 구간의 비율이 8:1이 되는 신호를 출력하도록 한다.[2] 입력 스위치를 컨트롤 해주는 신호이므로 출력 단에 size가 큰 buffer를 사용하였다.

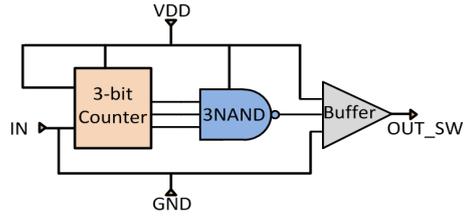


그림 9. Pulse_Dual 블록도

2.5 Battery Management

그림 10은 Battery Management의 블록도이다. 계속 변화하는 주변 환경으로 에너지가 사라지는 것을 막기 위해 Battery를 관리하는 회로가 필요하다. Battery 관리 회로는 비교기, D latch로 구성되어 있다. 비교기는 저항의 비에 의해 분배된 VSTOR을 밴드갭을 통해 공급받은 기준 전압과 비교함으로써 Under voltage, Battery ok voltage, Over voltage와 같은 신호를 각 블록으로 보낸다. D latch는 Under voltage와 Battery ok voltage를 비교할 때 비교기 뒤에 연결되는데, 이는 비교기의 출력 값을 저장하여 EN신호가 High일 때만 출력하는 역할을 한다. Over voltage 비교기 뒤에는 D latch를 연결하지 않았는데, 그 이유는 Over voltage 비교기가 신호에 따라 Enable, Disable 되면, 예상했던 전압보다 높ی 올라가거나, 낮게 내려 갈 수 있기 때문에 OV 비교기는 항상 동작하도록 하였다.[4]

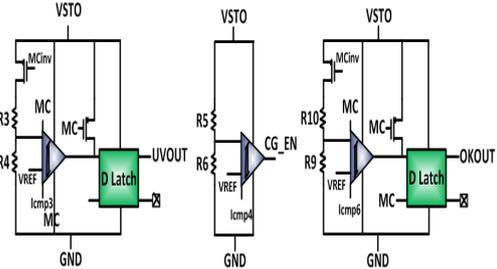


그림 10. Battery Management 블록도

III. 전체회로 모의실험 결과

Storage Capacitor에 2V가 충전 되어있음을 가정하였다. Charger의 출력 신호는 Power NMOS로 인가된다. VSTO와 VBAT을 연결하는 부분은 Powr PMOS로 구성 하였고, 큰 전압을 안정적으로 공급해야하기 위해 size가 큰 버퍼를 추가하였다. VSTO가 2.4V일 때, UVOUT이 OFF되어 Power PMOS를 ON시켜 Battery에 전압을 충전한다. VSTO가 2.8V일 때는, OKOUT이 출력되고, VSTO가 3V일 때, OVOUT(CG_EN) 신호를 OFF시켜 3V 이상 충전이 되지 않도록 Charger를 OFF시킨다. 전체회로 효율은 출력단 부하저항이 12K 옴일 때, 88.56% 효율을 갖는다.

그림11은 이중 입력을 제어하는 OUT_SW의 파형을 보여준다. PV와 PZT가 약 8대1의 비율로 에너지를 수확하며 이는 하나의 인덕터를 공유하여 전압을 Boost 시킨다.

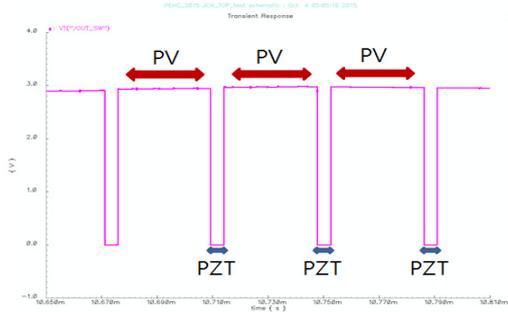


그림 11. 이중 입력을 제어하는 OUT_SW 파형

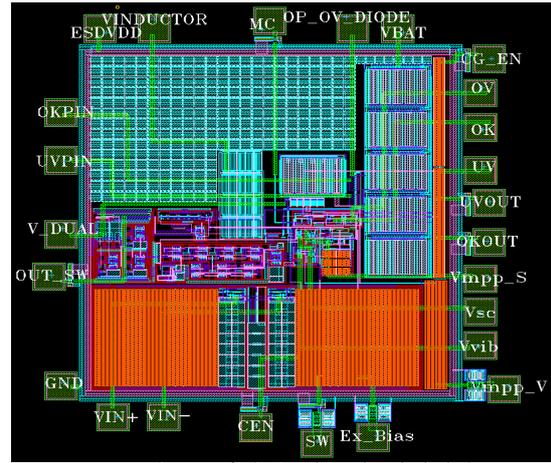
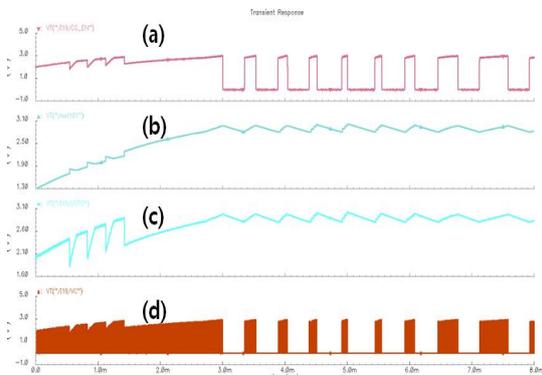


그림 14 제안된 회로의 레이아웃



(a)OVOUT (b)Vbat (c)VSTO (d)Charger out
그림 12. 전체회로 모의실험 결과

전체 회로의 효율 측정을 위하여 출력 노드에 저항을 연결하였다. 측정 결과 부하 저항 값이 12kΩ 일 때 최대 88.56%의 효율을 갖는 것으로 나타났다.

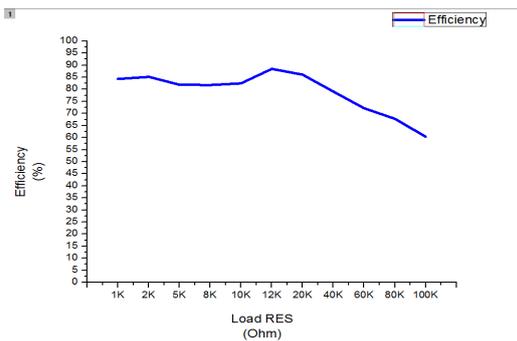


그림 13. 제안된 회로의 효율

설계된 이중입력 에너지 하베스팅의 레이아웃 도면은 그림 14와 같다. 회로 시스템을 보호하기 위하여 ESD를 추가하였고, PAD를 포함하여 전체 회로의 크기는 1230um×1330um이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 0.35um CMOS 공정을 이용하여 이중입력 에너지 하베스팅 충전 회로를 설계하였다. Photovoltaic cell과 Piezoelectric cell을 이용하여 빛과 진동에너지를 수확하고, inductor sharing을 통해 충전 가능한 전압으로 DC-DC Boost 시키는 기술을 적용하였다. 빛 에너지와 진동 에너지는 8대1의 비율로 시간 분할하여 에너지를 수확하며 최대 3V의 전압까지 배터리를 충전한다. 모의실험 결과, 부하 저항이 12kΩ일 때, 설계된 회로의 효율은 Photovoltaic cell만을 입력으로 사용했을 경우 65.2%이며, 이중 입력을 사용하였을 경우 88.56%로 측정되었다. 설계된 회로의 칩 면적은 PAD를 포함하여 1230um×1330um이며, 배터리 수명의 향상이 필요한 다양한 응용분야에 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] Suhwan Kim, Gabriel A. Rincon-Mora, "2014 Dual-Source Single-Inductor 0.18um CMOS Charger-Supply with Nested Hysteretic and Adaptive On-Time PWM Control," *IEEE*, pp. 400-401, Feb, 2014.
- [2] Saurav Bandyopadhyay and Anantha P. Chandrakasan, "2012 Platform Architecture for Solar, Thermal, and Vibration Energy Combining With MPPT and Single Inductor," *IEEE Journal of*, 47(9), 2199-2215, 2012.
- [3] T. Tsai, K. Chen, "A 3.4mW Photovoltaic Energy-Harvesting Charger with Integrated Maximum Power Point Tracking and Battery Management," *ISSCC*, pp. 72-73, 18 Feb, 2013.
- [4] 김국동, 박사현, 김대경, 양민재, 윤은정, 유종근 "배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 충전기," *한국정보통신학회논문지*, pp. 561-564, Oct. 2014.