

배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 충전기

김국동 · 박사현 · 김대경 · 양민재 · 윤은정 · 유종근

인천대학교

A Photovoltaic Energy Harvesting Charger with Battery Management

Kook-dong Kim · Sa-hyun Park · Dae-kyung Kim · Min-Jae Yang · Eun-jung Yoon · Chong-gun Yu

Incheon National University

E-mail : kdkim1205@naver.com

요 약

본 논문에서는 배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 충전기 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 통해 빛 에너지를 솔라 셀로부터 수확하고, 수확한 에너지를 외부 배터리 커패시터에 연결하여 충전한다. 배터리 관리회로(Battery Management)의 신호에 따라, 배터리 커패시터의 충전 상태를 조절한다. 제안된 회로는 0.35um CMOS 공정으로 설계하였으며, 모의실험을 통해 동작을 검증하였다. 설계된 회로의 최대효율은 84.8%이며, 칩 면적은 패드를 포함하여 1350um×1200um이다.

ABSTRACT

In this paper a photovoltaic energy harvesting charger with battery management circuit is proposed. The proposed circuit harvests maximum power from a solar cell by employing MPPT(Maximum Power Point Tracking) control and charges an external capacitor battery with the harvested energy. The charging state of the battery is controlled according to the signals from the battery management circuit. The proposed circuit is designed in a 0.35um CMOS process technology and its functionality has been verified through extensive simulations. The maximum efficiency of the designed entire system is 84.8%, and the chip area including pads is 1350um×1200um.

키워드

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

I. 서 론

빛 에너지 하베스팅(Photovoltaic Energy-Harvesting) 기술은 태양과 같은 빛에너지 원으로 부터 광기 전력을 수확하여 전기 에너지로 변화하는 기술로써 솔라 패널을 사용하는 매크로 빛 에너지 하베스팅 분야에 주로 적용되어 왔다. 그러나 최근에는 소형 전자기기의 에너지원으로 사용하기 위한 마이크로 빛 에너지 하베스팅에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] WSN(wireless sensing node)등에서와 같이 주기적으로 배터리를 갈아주기 어려운 응용분야 에서는 빛 에너지 뿐만 아니라 열에너지, 진동에너지 등 주변 환경에서 수

확할 수 있는 다양한 에너지원의 활용이 필요하다.[1-3] 그러나 에너지 수확은 에너지원이 항상 가까이 존재하고 또 에너지원이 일정하게 에너지를 공급하여야 하지만 빛이나 진동, 열 같이 우리가 수확하여 사용 할 수 있는 에너지원들은 보통 일정하게 공급되지가 않아서 에너지를 지속적으로 수확하는데 문제가 있을 수 있다. 이러한 이유로 응용분야가 제한 될 수밖에 없기 때문에 이를 해결하기 위해 에너지원을 다양화하여 빛에너지, 열에너지, 진동에너지를 같이 수확하는 다중 에너지 수확에 대한 연구도 진행 중이다.[5] 본 논문에서는 이 같은 문제를 빛에너지를 수확하여 배터리에 저장하고 주변 환경의 변화에 의해 빛 에너지를 수확 할 수 없을 때는 배터리에 저장된 에너지를 사용하도록 하여 문제를 해결하는 것에

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2014046387). IDEC 지원에 의해서도 일부 수행되었음.

중점을 두고 연구를 진행하였다. 또한 에너지 수확의 효율을 증가시키기 위해 에너지 수확이 가장 효율적으로 진행될 수 있도록 MPP(Maximum Power Point)에서 에너지 수확이 진행되도록 MPPT(Maximum Power Point Tracking)기능을 적용하였다.

II. 회로 설계

그림 1은 제안된 배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 회로의 전체 블록도이다. 회로의 구성은 시동회로, Charger, MPPT Controller, Controller, Battery Management 회로로 구성된다. 이 회로는 MPPT 제어기능을 갖고, Controller 블록에 의해 시동회로와 Charger 블록이 ON/OFF 되면서 배터리를 충전시키고 Battery Management 회로로 배터리의 충전/방전을 관리한다.

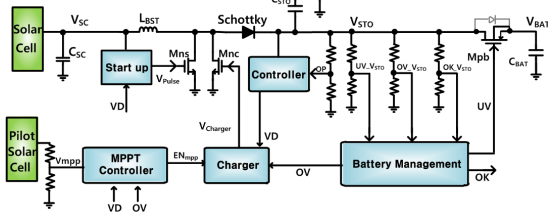


그림 1. 제안된 배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 회로

2.1 시동(Start-up)회로

시동회로는 소형 솔라셀(Solar cell)에서 발생한 낮은 전압 V_{SC} 를 다른 회로블록들을 동작하는데 필요한 전압으로 승압시키는 역할을 한다. 그림 2는 본 논문에서 제안된 시동회로 블록도이다. 시동회로의 구성은 바디전압 발생기(Body-voltage generator), 오실레이터(Oscillator), 전하펌프(Charge Pump), 펄스발생기(Pulse generator) 그리고 NMOS 스위치인 M_{ns} 로 구성된다. 바디전압 발생기는 오실레이터 회로에 사용되는 PMOS 트랜지스터의 문턱전압을 낮추기 위한 바디전압(V_{body})을 만든다. 오실레이터는 전하 펌프의 승압을 위한 중첩되지 않는 클럭 ($CLK1, CLK2$)을 발생시키고 전하 펌프는 입력전압 V_{SC} 를 NMOS스위치 M_{ns} 의 문턱전압 이상으로 승압 시킨다. 펄스 발생기는 전하 펌프를 통해 승압된 전압 V_{cp} 를 이용하여 NMOS스위치 M_{ns} 를 ON/OFF하기 위한 펄스(V_{pulse})를 생성한다.

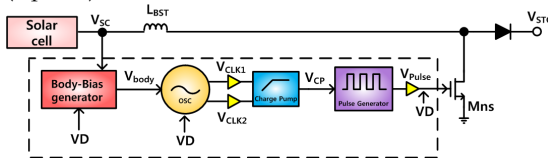


그림 2. 시동회로 블록도

본 설계에 사용된 공정의 PMOS는 문턱전압이 850mV정도 된다. 그러나 Solar Cell에서 발생하

는 전압(V_{SC})은 이보다 더 낮기 때문에 PMOS 트랜지스터의 전류구동 능력을 향상시키고 오실레이터의 클럭 주파수를 높이기 위해 PMOS 트랜지스터에 바디 전압을 인가해주는 회로를 추가하였다. 그림 3은 설계된 바디전압 발생기이다. 여기서 생성된 전압(V_{body})은 오실레이터에 들어가는 PMOS 트랜지스터들의 바디에 공급되어 문턱 전압을 낮춘다. V_D 와 반전 신호 V_{DB} 는 Start-up이 꺼졌을 시 전류소모를 최소화 하고 누설전류를 막기 위해 바디전압이 입력 V_{SC} 를 따라가도록 하는 역할을 한다.

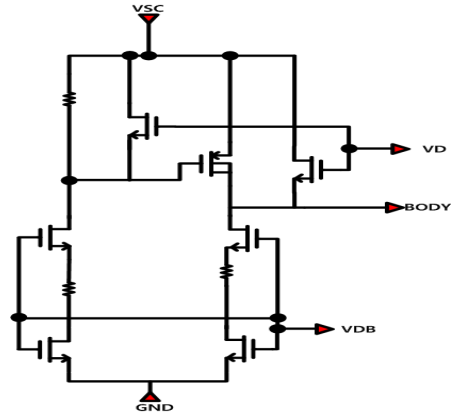


그림 3. 바디전압 발생기 회로

오실레이터는 3단 CMOS 인버터 체인으로 구성하고 PMOS 트랜지스터의 바디에 V_{body} 가 들어가도록 하였다. Start-up이 꺼졌을 시 Disable시키기 위한 스위치를 추가하였다.

전하펌프는 Peliconi 전하펌프 형태를 사용하였으며 2단으로 구성하였다.[4] 펄스발생기는 오실레이터와 마찬가지로 3단 CMOS 인버터 체인으로 구성하였다.

2.2 MPPT Controller

그림 4는 MPPT Controller의 블록도이다. 솔라셀로부터 최대 전력을 수확하기 위해서는 MPPT가 필요하며 최적의 효율을 내는 지점은 식(1)과 같다.

$$V_{MPP} \cong K_{MPP} \cdot V_{OC} \quad (1)$$

이때 K_{MPP} 의 값은 0.6~0.8의 값을 갖는다. 본 설계에서 사용된 솔라셀의 개방회로 전압 V_{OC} 는 100klux의 빛 세기에서 약 600mV이다. 저항 분배기를 이용하여 pilot solar cell의 전압을 0.7배로 만들고 main solar cell의 입력전압 V_{SC} 와 비교하여 V_{SC} 가 더 클 때 charger를 동작 시켜주도록 한다. 비교기는 hysteresis를 100mV값도록 설계하여 V_{MPP} 전압이 600mV의 0.7배인 420mV 이상에서만 charger enable 신호인 EN_{mpp} 를 출력하도록 함으로써 charger가 입력전압이 최적의 전력효율을 나타내는 지점에서만 동작하도록 하였다.

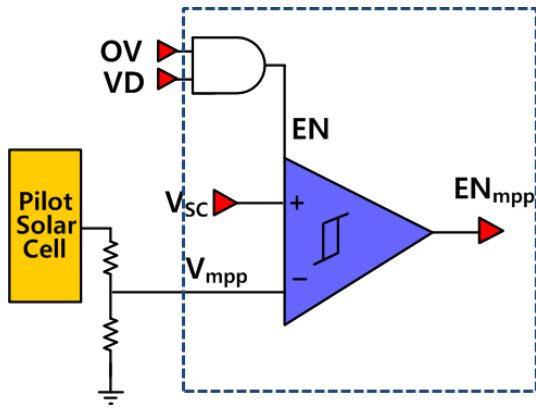


그림 4. MPPT Controller 블록도

2.3 Charger

그림5는 Charger의 블록도이다. Charger의 구성은 오실레이터, D-플립플롭, Gate driver, AND 게이트로 되어있다. Charger는 V_{STO} 에 저장된 전압을 공급받아 동작한다. Start-up회로에서 V_{STO} 전압을 1.6V까지 승압시키고 나면 Controller의 출력 VD가 발생되고, 배터리 관리회로의 출력신호 중 하나인 OV와 MPPT의 출력 ENmpp가 입력되어 Charger를 작동시킨다. Charger가 동작하면서 V_{STO} 가 1.6V에서 3V까지 승압하게 되고 그에 따라 전류소모가 증가하고 오실레이터의 주파수 또한 변화하게 된다. 시뮬레이션 결과 최적의 승압을 위한 주파수는 400~500kHz 이다. 따라서 주파수가 큰 폭으로 변화하는 것을 방지하고 전류 소모를 줄이기 위해서 current starved oscillator를 사용하였다. 또 D-플립플롭을 사용하여 duty cycle을 항상 50%로 유지하도록 설계하였다.

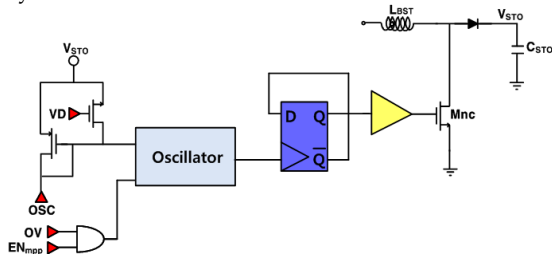


그림 5. Charger의 블록도

2.4 Controller

그림6은 Controller의 전체 블록도이다. Controller는 각 블록으로 바이어스 전류를 분배하고, MC신호를 발생시켜 회로들을 주기적으로 ON, OFF 하는 역할을 하며 V_{STO} 가 1.6V가될 때, Start-up회로를 OFF시키고, Charger를 ON시키는 역할을 한다. 이 블록은 POR, 비교기(CMP), 밴드갭, MC신호 발생기, AND 게이트로 구성되어 있다. POR은 1.3V정도에서 high가 되어 hysteresis 비교기의 EN신호로 사용된다. 비교기는 밴드갭에서 나오는 기준 전압 VREF와 V_{STO} 의 저항 디바이더 된 전압을 비교하여 V_{STO} 가 1.6V이상이 되면 VD신호

를 high로 출력한다. MC신호 발생기는 Battery Management 회로의 비교기의 EN신호 및 저항 디바이더의 스위치의 신호로 작동하는 MC신호를 발생시킨다.

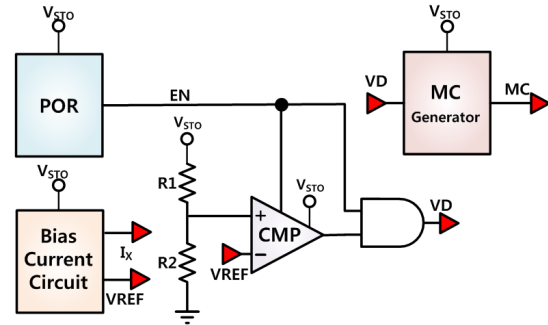


그림 6. Controller의 블록도

2.4.1 MC신호 발생기(MC Generator)

MC신호 발생기는 오실레이터, 7-bit Counter, 3NOR 게이트, D-플립플롭으로 구성하였다. 7-bit Counter에서 Q1, Q2, Q6는 사용하지 않고, Q3, Q4, Q5가 모두 0일 경우 3NOR에 의해 D-플립플롭의 출력에 1이 출력되고, 반대의 경우에는 0이 출력되는 MC신호를 생성한다.

2.4.2 밴드갭 레퍼런스(Bandgap Reference)

Bias current circuit에 사용되는 밴드갭 레퍼런스는 주로 BJT를 이용하여 설계하지만, 회로의 전류소모를 최소화하기 위해 MOSFET소자와 저항을 사용하여 설계하였다.[5]

2.5 배터리 관리회로(Battery Management)

그림7은 배터리 관리회로의 블록도이다. 이 회로는 UV, OV, OK신호를 출력하는 회로로써, V_{STO} 전압을 외부 저항의 비를 이용하여 각 단계에서의 전압을 비교하여 신호로 출력한다. UV신호는 V_{STO} 가 2.4V이상에서 배터리에 충전이 되도록 한다. V_{STO} 가 2.8V이상이 되면, OK신호가 출력되게 된다. V_{STO} 가 3V이상이 되면, OV신호가 Low가 되어 Charger가 동작하지 않게 되고 더 이상 충전이 되지 않는다. 방전이 되어 V_{STO} 전압이 작아지게 되면, Charger는 다시 동작 하여 배터리를 충전하게 된다. 전류소모를 최소화하기 위해 UV신호와 OK신호를 비교하는 비교기는 Controller에서 출력되는 MC신호에 의해 Enable/Disable된다. OV신호는 EN기능이 없는 비교기를 사용하였는데, 이는 MC신호에 의해 OV신호가 출력될 경우 3V이상으로 충전되어 질 수 있기 때문에, 항상 작동하는 비교기를 사용하였다.

III. 모의실험 및 구현

그림8은 개방 전압이 600mV인 솔라셀의 출력 전압을 받아 시동회로가 동작하고 2msec에서

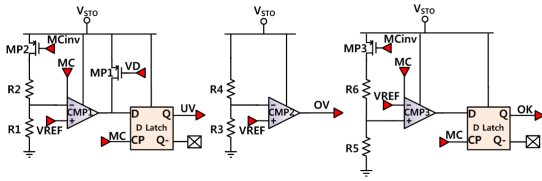


그림 7. 배터리 관리회로의 블록도

V_{STO} 가 1.6V 이상이 되면 시동회로가 Controller 블록의 신호에 의해 꺼지고, Charger가 동작하는 것을 볼 수 있다. Charger로 C_{STO} 에 전압이 충전되면서 5.3msec에서 V_{STO} 가 2.4V가 되면 V_{STO} 와 V_{BAT} 사이의 스위치가 ON되어 V_{BAT} 전압이 V_{STO} 와 같아지는 것을 확인할 수 있다. 그 후 V_{STO} 가 2.8V가 되면 OK신호가 출력되게 되고, 마지막으로 V_{STO} 가 3V이면 Charger가 동작하지 않게 되고 더 이상 충전이 일어나지 않게 된다.

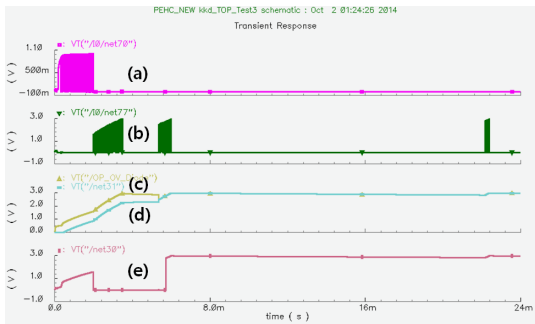


그림 8. 전체회로 모의실험 결과 (a)Vpulse (b)Vcharger (c) V_{STO} (d) V_{BAT} (e)OK

전체 회로의 효율은 출력 노드에 저항을 연결하여 측정하였고, 그 결과 그림 9에 보듯이 저항값이 2.7k Ω 일 때 84.8%의 최대효율을 갖는 것으로 나타났다.

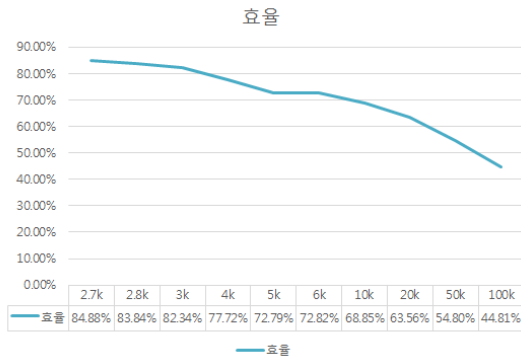


그림 9. 제안된 회로의 효율

설계된 배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 회로의 레이아웃 도면은 그림 10과 같다. 회로 보호를 위한 ESD를 추가하였다.

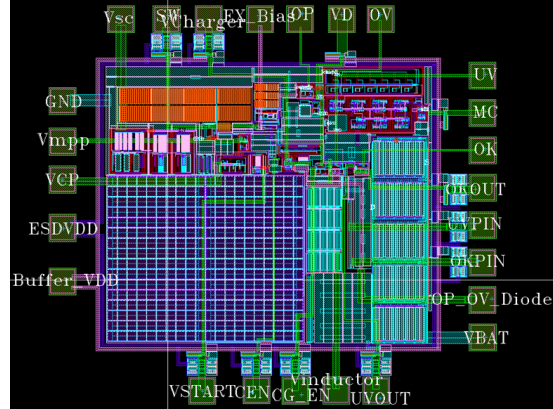


그림 10 설계된 회로의 레이아웃

IV. 결론

본 논문에서는 0.35 μ m CMOS 공정을 이용하여 배터리 관리 기능을 갖는 빛 에너지 하베스팅 충전기 회로를 설계하였다. 솔라셀로부터 최대 전력을 수확하기 위해 pilot 솔라셀을 사용하여 MPPT 기능을 적용하였으며, 다양한 회로 기술을 적용하여 전력소모를 최소화 하도록 하여 효율을 향상시켰다. 설계된 회로를 모의실험 한 결과, start-up, 배터리 관리기능 등이 정상적으로 이루어지며 최대 효율은 84.8%이다. 설계된 회로의 칩 면적은 PAD를 포함하여 1350 μ m \times 1200 μ m이며, 배터리 수명의 향상이 필요한 다양한 응용분야에 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] K. Kadirvel et al., "A 330nA Energy-Harvesting Charger with Battery Management for Solar and Thermoelectric Energy Harvesting," ISSCC, pp. 106-107, 20 Feb. 2012.
- [2] 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.
- [3] 윤은정, "DC-DC 부스트 변환기를 이용한 열전에너지 하베스팅 회로", 전기전자학회 논문지, pp. 285~287, 2013.
- [4] S. Abdelaziz, A. G. Radwan, A. Eladawy, A. N. Mohieldin, A. M. Soliman, "A Low Start-Up Voltage Charge Pump for Energy Harvesting Applications," ICET, 2012.
- [5] 윤은정, "MPPT 제어 기능을 갖는 삼중 입력 에너지 하베스팅 회로 설계", 인천대 대학원 석사 학위 논문, pp. 42~50, 169~172, 2012.