

MPPT 기능을 갖는 열전 에너지 하베스팅 회로

김수진 · 박금영 · 윤은정 · 오원석* · 유종근

인천대학교 전자공학과, *전자부품연구원

Design of a Thermal Energy Harvesting Circuit With MPPT Control

Su-jin Kim · Kum-young Park · Eun-jung Yoon · Won-seok Oh* · chong-gun Yu*

Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon, *Korea Electronics Technology Institute

E-mail : newghdl@naver.com

요 약

본 논문에서는 온도 차에 의해 기전력이 발생하는 제베크효과를 이용한 열전소자로 전기에너지를 발생시키고, 전압이 최대전력이 발생하는 지점에서 동작하도록 하는 MPPT 제어기능을 갖는 에너지 하베스팅 회로를 설계하였다. 설계된 회로는 열전소자의 오픈 전압을 주기적으로 샘플링 한 후 MPPT 제어 회로를 통해 최대전력 발생 지점인 오픈전압의 1/2에 해당하는 전압을 유지하면서 열전 소자로부터 수확된 에너지를 스위치를 통해 부하로 전달하는 역할을 한다 제안된 열전에너지 하베스팅 회로는 0.35 μm CMOS 공정으로 설계하였고 설계한 회로의 칩 면적은 패드를 제외하고 1168.7 μm X 541.3 μm 이다.

ABSTRACT

In this paper, with a thermoelectric device using the seebeck effect which generates electromotive force by temperature difference generates electric energy an energy harvesting circuit using MPPT(Maximum Power Point Tracking) control is designed. After periodically sampling the open voltage of the thermoelectric device, the 1/2 voltage of open voltage which in a maximum power point is maintained through MPPT control circuit and harvested energy from thermoelectric device is delivered to load through a switch. The proposed thermal energy harvesting circuit is designed with 0.35 μm CMOS process and the chip area excluding pads is 1168.7 μm X 541.3 μm .

키워드

에너지 하베스팅, 열전에너지, 열전소자, MPPT

Key world

Energy harvesting, Thermal energy, Thermo electric device, MPPT

1. 서 론

최근 들어 나노기술의 발전에 힘입어 청정에너지를 구현할 수 있는 열전소자 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. 열전소자는 태양에너지를 이용한 발전뿐만 아니라 체열 폐열 및 지열 등을 이용한 발전 등 응용처가 매우 다양하며 청정에너지를 생산할 수 있는 미래 지향적인 특성을 가

진 분야라 할 수 있다[1].

태양광을 이용한 기술은 최대 활용효율이 15% 이내로 제한되어 있는 실정이다 반면 열전에너지 하베스팅 기술은 열전재료의 한계를 극복하기 위하여 나노 기술을 이용한 열전재료 개발이 진행되고 있어 에너지 소비 및 에너지 생산에 있어 변환 효율을 높일 수 있다

열전 현상은 온도구배가 전위차를 형성하는 Seebeck 현상과 반대로 전위차가 온도구배를 형성하는 Peltier현상으로 구분된다[2~3].

본 논문에서는 열을 전기로 변환하는 Seebeck 효과를 이용한 열전소자를 통해 저전력으로 민간

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2010-0021112). IDEC 지원에 의해서도 일부 수행되었음

분야에 적용 가능한 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어기능을 갖는 열전에너지 하베스팅 회로를 제안하고 0.35um CMOS 공정으로 설계하였다. 최대한 전력소모를 줄이기 위해 저전력 MPPT 회로를 구성하여 MPP(Maximum Power Point) 전압을 제어하도록 구현하였다[4].

II. 회로 설계

2.1 제안된 열전에너지 하베스팅 구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 MPPT 제어기능을 갖는 열전에너지 하베스팅 시스템의 블록도이다. 이 시스템은 크게 열전소재(TEG)와 TEMC(Thermal Energy MPPT Control)로 구성되어 있다. TEG로부터 출력된 에너지는 TEMC를 통해 Maximum Power Point에서의 전력을 출력되도록 제어하며, 제어된 에너지는 부하로 전달된다.

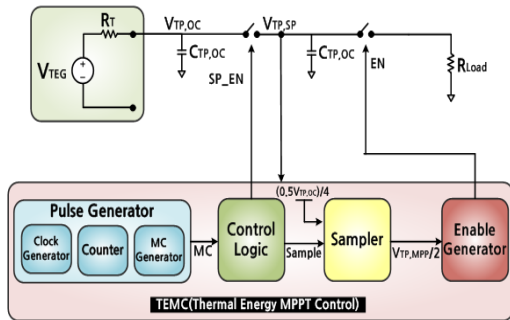


그림 1. 제안된 열전에너지 하베스터의 블록 다이어그램

2.2 열전소재

열전소재는 seebeck effect를 이용하여 온도차를 전기에너지로 변환하는 에너지 변환기이다. 그림 2는 열전소재의 I-V와 P-V 특성곡선으로 개방회로 전압의 절반되는 전압에서 최대 전력을 출력하는 것을 확인할 수 있으며 이 부분을 Maximum Power Point(MPP)라 한다[5].

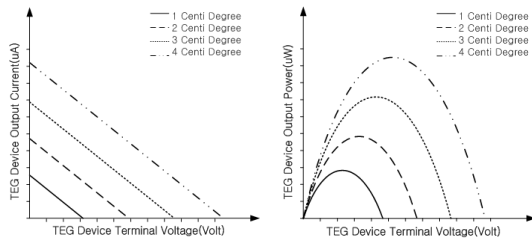


그림 2. 열전소재의 I-V, P-V 특성

그림 3은 열전소재의 등가회로이다. 저항 R_T 는 열전소재의 내부저항이다. 본 논문에서는 상온에서 오픈전압의 범위는 1-8V이고 내부저항의 범위가 20k-30M 정도인 TEG를 사용하였다[6].

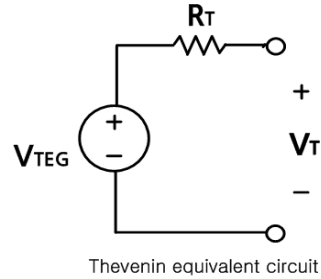


그림 3. 열전소재 등가회로

2.3 TEMC (Thermal Energy MPPT Control)

TEMC는 Pulse Generator, Sampler, Enabler Generator로 구성되어 있다. Pulse Generator는 오픈 전압을 주기적으로 샘플링하기 위한 신호(MC)와 Sampler 동작에 필요한 신호를 출력하고 Sampler는 오픈 전압을 주기적으로 샘플링하여 Enabler Generator에 전달하는 역할을 한다. Enabler Generator는 오픈 전압의 1/4 전압 (V_{sp_4})을 기준으로 최대 MPPT 전압 (V_{mpp_max})과 최소 MPPT 전압 (V_{mpp_min})을 생성한 뒤 비교기로 인가한다. V_{sp_4} 가 V_{mpp_max} 보다 크면 pMOS 스위치를 on시켜 부하로 전력을 공급하고, V_{mpp_min} 보다 작으면 전력 스위치가 off시켜 부하에 전력 공급을 차단한다.

2.3.1 Pulse Generator

그림 4는 Pulse Generator 블록 다이어그램이다. 밴드갭 회로(BGR)를 통해 생성된 기준전류(CS)를 Oscillator를 통해 클럭으로 생성한다. 7bit 카운터는 7개의 T-flip-flop과 6개의 and gate를 사용하여 MC generator에 필요한 신호를 생성한다. 카운터의 7bit중 상위 6개 bit가 '0'일 때 'MC'는 '1'이 되고, 이외의 경우에는 '0'이 된다. 또한, D플립플롭을 사용하여 전과 지연으로 인해 어긋난 'MC'신호를 동기화시킬 수 있도록 하였다. 생성된 'MC'신호는 열전소재의 오픈전압을 샘플링하기 위한 신호로도 사용된다.

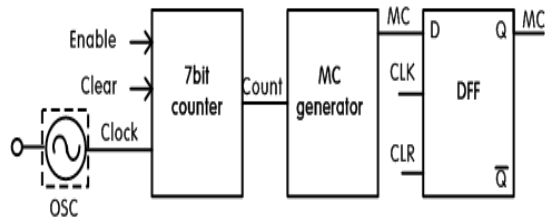


그림 4. Pulse Generator 블록 다이어그램

2.3.2 Sampler

그림 5는 Sampler의 회로도이다. TEG 개방회로 전압을 샘플링하여 Enable Generator로 전달한다. 샘플링 된 신호의 손실을 줄이기 위하여 각 스위치 단에 커패시터를 사용하였다 TEMC가 구동하기 시작하면 Sampler는 개방회로 전압의 절반이 되는 전압을 받아 구동하게 된다 본 설계에서는 Sampler가 제대로 동작하도록 하기 위하여 TEG전압의 1/8되는 전압(MPP 전압 $V_{TP,MPP}/2$)을 Sampler의 입력으로 사용하였다.

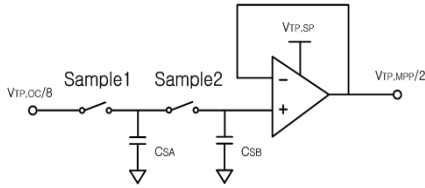


그림 5. Sampler 회로

2.3.3 Enable Generator

그림 6은 비교기와 Latch로 구성된 Enable Generator의 회로도이다. Sampler에 의해 샘플링된 $V_{tp,mpp}/2$ 는 MPPT_Amp의 저항에 공급하여 $V_{tp,oc}/4$ 를 기준으로 V_{mpp_max} 와 V_{mpp_min} 을 생성하였다.

$V_{tp,oc}/4$ 가 V_{mpp_max} 보다 크면 enable 신호 'EN'이 '0'이 되어, 전력 스위치(power switch)를 on시키고, 부하로 전력을 공급하게 하고, V_{sp_4} 가 V_{mpp_min} 보다 작으면 'EN'이 '1'이 되어, 전력 스위치를 off시키고, 부하에 전력 공급을 차단하는 동작을 한다. 그림 7에서 MPPT 제어 예상 동작을 확인 할 수 있다.

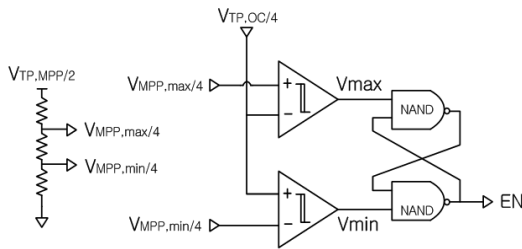


그림 6. Enable Generator 회로

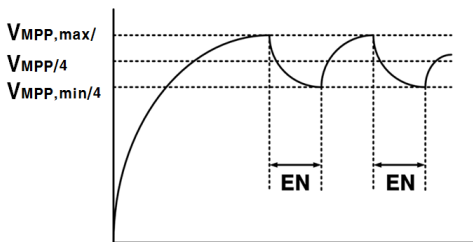


그림 7. MPPT 제어 동작

III. 모의실험 결과

설계된 열전에너지 하베스팅 시스템을 0.35um CMOS 공정변수를 사용하여 모의 실험하였다 그림 8의 (a)는 열전소자로부터 출력되는 전압 $V_{tp,oc}$ 파형이다. 그림 8의 (b)와 (c)는 MC 신호와 Sample 신호(V_{sp})이다. 그림 8의 (d)는 MPPT 제어 동작에 따라 부하에 공급되는 출력을 보여준다.

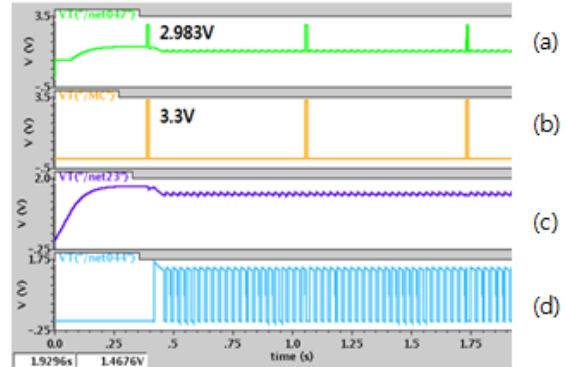


그림 8. (a) $V_{tp,oc}$ 출력 (b) MC 신호 (c) V_{sp} 신호 (d) V_{load} 출력

그림 9 (a)는 열전소자로부터 출력되는 $V_{tp,oc}$ 의 파형이다. 샘플링 구간 동안은 TEG의 개방전압에 해당하는 약 3V 정도가 되며 주기적으로 샘플링 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 9 (b)는 부하에 공급되는 출력 전압을 보여준다.

그림 9 (a)는 Enable Generator의 'EN' 파형이고 (b)는 Enable Generator에 입력되는 전압 (V_{sp_4})과 내부적으로 발생된 최대 MPPT 전압 (V_{mpp_max})과 최소 MPPT 전압(V_{mpp_min})의 파형이다. 결과파형으로부터 V_{sp_4} 가 V_{mpp_max} 보다 크면 pMOS 스위치가 'on'되어 부하로 전력이 공급되고, V_{mpp_min} 보다 작으면 전력 스위치가 'off' 되어 부하에 전력 공급을 차단되는 것을 확인 할 수 있다.

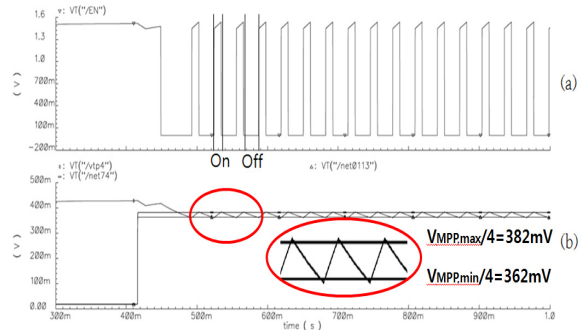


그림 9. (a) Enable Generator 출력 (b) MPP 기준 전압

그림 10은 부하 저항에 따른 부하에 공급되는 전력효율을 보여준다. 최대 전력효율은 부하저항이 20K Ω 일 때 94%이고 이때의 Duty는 98%이다. 부하가 큰 경우에는 MPPT 제어에 의해 MPP 근처의 일정한 출력전압을 부하에 공급하게 된다. 그러나 부하가 커질수록 부하에 전력을 공급하는 시간이 줄어들게 되어 전력효율이 감소하게 된다. 부하가 작은 경우에는 MPPT 회로에서 고정적으로 소모되는 전력량이 부하에서 소모되는 전력량보다 상대적으로 커지므로 전력효율이 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

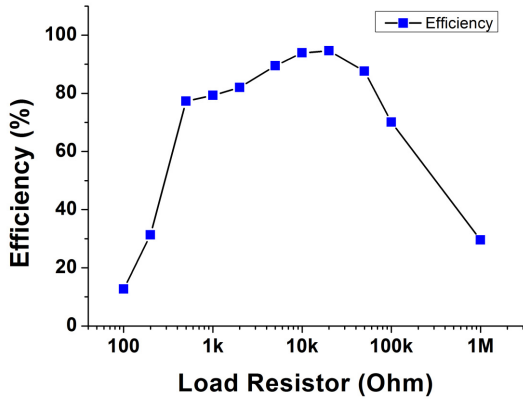


그림 10. 부하저항에 따른 전력효율

그림 11은 설계된 회로의 레이아웃 도면이다. Pad를 제외한 칩 면적은 1168.7 μm X 541.3 μm 이다. 본 논문에서 설계한 열전에너지 하베스팅 시스템의 성능을 표1에 요약하였다.

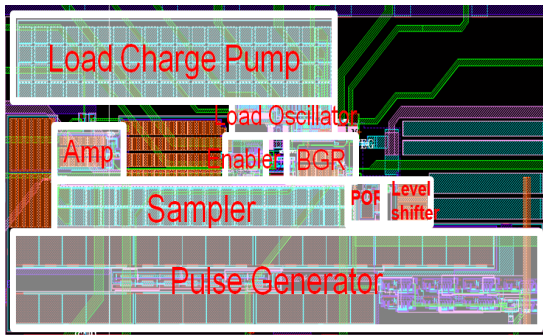


그림 11. 레이아웃

표 1. 성능요약

Specification	Performance
Technology	0.35 μm CMOS
Operation voltage	1.4V~1.5V
Max. power efficiency	94% @ 20k Ω
TEMC current consumption	3.076 μA
Chip area	1168.7 μm x 541.3 μm

IV. 결 론

본 논문에서는 MPPT열전 하베스팅 회로를 제안하려 한다. MPPT는 TEG의 개방회로 전압과 MPP에서의 전압간의 관계를 이용하여 주기적으로 TEG의 개방회로 전압을 샘플링함으로써 구현하였다. 설계결과 MPP에서의 전력이 주기적으로 부하로 공급되는 것을 확인하였다. 설계된 회로는 모의실험한 결과 94%의 최대 전력 효율 특성을 보였으며, pad를 제외한 칩 면적은 1168.7 μm X 541.3 μm 이다. 본 논문에서 설계된 열전에너지 하베스팅 시스템은 기존의 DSP로 구성된 MPPT와 다르게 간단한 회로들로 MPPT 제어를 하였기 때문에 저전력 소모로 구현하였고 부하가 큰 경우에도 MPP 근처의 일정한 전압을 부하에 공급하고 저전력으로 동작하기 때문에 다양한 민간분야에 적용 가능할 것으로 기대된다

참고문헌

- [1] 장문규, 전명심, 노태문, 김종대, “고효율 열전소자 기술,” 전자통신동향분석 제 23권 6호, 2008년 12월
- [2] 이정호, “미래형 태양광 열전통합 나노소자,” 한국과학기술단체총연합회 과학과 기술, 2010.09
- [3] 노종욱, 이우영, “나노선 기반 초고효율 열전소자 기술 개발 현황,” 한금속재료학회, 제24권 제1호, pp.33~44, 2011년 2월
- [4] H. Shao, C. Tsui, and W. Ki, "The Design of a micro Power Management System for Applications Using Photovoltaic Cells Withe the Maximum Output Power Control," *IEEE Trans. on VLSI Systems* vol.17, no.8, pp.1138-1142, 2009.
- [5] C. Lu, S. P. Park, V. Raghunathan, K. Roy, "Analysis and Design of Ultra Low Power Thermoelectric Energy Harvesting Systems," *IEEE Trans. on Energy Harvesting Systems*, pp.183-188, 2010
- [6] V. Leonov, P. Fiorini, S. Sedky, T. Torfs, and C. Van Hoof, ""Thermoelectric MEMS generators as a power supply for a body area network," in *Proc. Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, 2005, vol. 1, pp. 291-294.
- [7] 박준호, 윤은정, 박종태, 유종근, “MPPT 제어기능을 갖는 진동에너지 하베스팅 회로 설계,” 한국정보통신학회 논문지 제 15권 11호, 2011. 11