



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0135042
(43) 공개일자 2017년12월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 2/18 (2006.01) G05F 1/67 (2006.01)
H02M 7/155 (2006.01) H02N 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02N 2/181 (2013.01)
G05F 1/67 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0066294
(22) 출원일자 2016년05월30일
심사청구일자 2016년05월30일
기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
유종근
인천광역시 연수구 인천타워대로 323, 씨동 3105
호(송도동)
윤은정
경기도 시흥시 대은로 62, 308동 1205호(은행동,
대우3차아파트)
(74) 대리인
특허법인충정

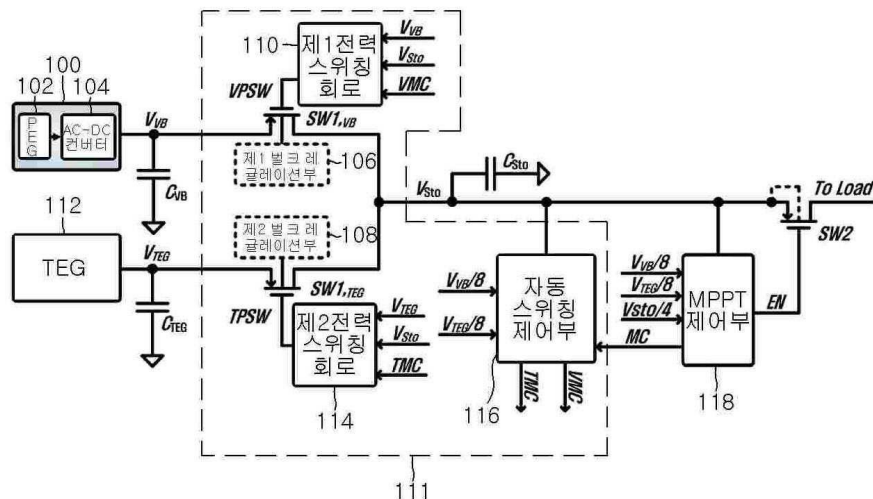
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 진동을 전기로 변환하기 위한 압전 변환부; 열을 전기로 변환하기 위한 열전 변환부; 상기 압전 변환부에서 출력되는 전압과 상기 열전 변환부에서 출력되는 전압 중 더 높은 전압이 출력되도록 하는 전력 스위칭부; 및 상기 압전 변환부와 상기 열전 변환부에서 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)의 전압이 출력되도록 하는 최대전력점 추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어부를 포함하여, 환경 변화에 덜 민감하고 각 에너지원의 MPPT 회로를 하나로 병합할 수 있어 전체 시스템의 크기와 비용을 줄여 초소형 센서 노드에 적용이 용이하며, 자동 스위칭 기능을 적용하여 출력 전력이 더 큰 에너지원으로부터 최대 가용 전력을 수확할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H02M 7/155 (2013.01)

H02N 11/002 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2014046387

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기본연구지원사업(유형Ⅱ)

연구과제명 다중입력 마이크로 에너지 하베스터 및 에너지/전력 관리 SoC 개발을 통한 자가발전 무선
센서노드 구현

기 여 율 1/1

주관기관 인천대학교 산학협력단

연구기간 2010.09.01 ~ 2015.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

진동을 전기로 변환하기 위한 압전 변환부;

열을 전기로 변환하기 위한 열전 변환부;

상기 압전 변환부에서 출력되는 전압과 상기 열전 변환부에서 출력되는 전압 중 더 높은 전압이 출력되도록 하는 전력 스위칭부; 및

상기 압전 변환부와 상기 열전 변환부에서 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)의 전압이 출력되도록 하는 최대전력점 추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어부를 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 전력 스위칭부는,

상기 압전 변환부에서 출력되는 전압의 공급을 단속하기 위한 제1 전력 스위칭부;

상기 열전 변환부에서 출력되는 전압의 공급을 단속하기 위한 제2 전력 스위칭부; 및

상기 압전 변환부의 출력 전압과 상기 열전 변환부의 출력 전압 중 더 높은 전압이 출력되도록, 상기 제1 전력 스위칭부와 상기 제2 전력 스위칭부의 동작을 제어하기 위한 자동 스위칭 제어부를 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 제1 전력 스위칭부는,

상기 압전 변환부의 출력에 연결되는 제1 전력 스위치; 및

상기 자동 스위칭 제어부의 제어 신호에 따라 상기 제1 전력 스위치를 온 또는 오프시키기 위한 제1 전력 스위칭 회로를 포함하고,

상기 제2 전력 스위칭부는,

상기 열전 변환부의 출력에 연결되는 제2 전력 스위치; 및

상기 자동 스위칭 제어부의 제어 신호에 따라 상기 제2 전력 스위치를 온 또는 오프시키기 위한 제2 전력 스위칭 회로를 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 자동 스위칭 제어부는,

상기 압전 변환부의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부의 개방회로 전압을 비교하여, 상기 압전 변환부의 개방회로 전압이 상기 열전 변환부의 개방회로 전압보다 높은 경우, 상기 제1 전력 스위치를 온(on)시키고 상기 제2 전력 스위치를 오프(off)시키기 위한 신호를 출력하며,

상기 열전 변환부의 개방회로 전압이 상기 압전 변환부의 개방회로 전압보다 높은 경우, 상기 제1 전력 스위치를 오프(off)시키고 상기 제2 전력 스위치를 온(on)시키기 위한 신호를 출력하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 제1 전력 스위치의 바디 단자에 연결된 제1 벌크 레귤레이션 회로; 및

상기 제2 전력 스위치의 바디 단자에 연결된 제2 벌크 레귤레이션 회로를 더 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 6

청구항 3에 있어서,

상기 압전 변환부에서 출력된 전압 또는 상기 열전 변환부에서 출력된 전압을 부하 전력 공급 제어 신호에 따라 부하에 공급하거나 공급하지 않는 부하 전력 공급 단속 스위치를 더 포함하고,

상기 최대전력점 추적(MPPT) 제어부는,

상기 압전 변환부의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부의 개방회로 전압을 획득하고, 상기 획득된 개방회로 전압들에 기반하여 상기 부하 전력 공급 단속 스위치의 동작을 제어하여 부하로의 전력 공급을 단속함으로써 상기 압전 변환부와 상기 열전 변환부에서 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)의 전압이 출력되도록 하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 압전 변환부의 출력 또는 상기 열전 변환부의 출력을 저장하기 위한 저장 커패시터를 더 포함하고,

상기 최대전력점 추적(MPPT) 제어부는,

소정의 동작 펄스를 발생시키기 위한 펄스 발생기;

상기 압전 변환부의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부의 개방회로 전압을 획득하기 위한 샘플러; 및

상기 펄스 발생기의 출력 및 상기 저장 커패시터의 전압에 기반하여 상기 부하 전력 공급 단속 스위치의 동작을 제어하기 위한 인에이블 발생기를 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 제1 전력 스위칭 회로는 상기 압전 변환부의 출력 전압과 상기 저장 커패시터의 전압을 비교하여 더 높은 전압을 논리 레벨 '1'로 출력하고,

상기 제2 전력 스위칭 회로는 상기 열전 변환부의 출력 전압과 상기 저장 커패시터의 전압을 비교하여 더 높은 전압을 논리 레벨 '1'로 출력하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 열전 변환부는 열전 소자를 포함하고,

상기 압전 변환부는,

진동을 전기로 변환하기 위한 압전소자; 및

상기 압전소자에서 출력되는 교류(AC) 전압을 직류(DC) 전압으로 변환하기 위한 AC-DC 변환기를 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 AC-DC 변환기는,

2개의 능동 다이오드와 2개의 MOS 스위치를 포함하는 능동 AC-DC 변환기를 포함하고,

상기 능동 다이오드 각각은 PMOS 스위치와 비교기를 포함하는, 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 에너지 하베스팅 회로에 관한 것으로, 특히 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 오늘날 집적회로의 발전은 임플란트 디바이스, 환경 모니터링, 웨어러블 센서 등 다양한 분야에 초소형, 초저전력 센서의 적용을 가능하게 하고 있다. 센서의 발전 양상에 따라 센서에 전원을 공급하는 배터리도 함께 발전되어야 하지만 배터리의 발전은 기술적인 한계로 발전 속도가 느리다. 기존의 배터리는 크고 무거우며 유한한 수명을 가지고 있어 초소형 센서에 적용하기에는 어려움이 있으며, 센서의 위치에 따라 배터리 교체가 어려울 수 있다. 이러한 초소형, 초저전력 센서에 자가 충전 또는 배터리 대용으로 사용될 수 있는 방법 중 하나가 에너지 하베스팅(energy harvesting) 기술이다.

[0003] 에너지 수확을 위해 필요한 에너지 변환소자들에는 최대 가용 전력을 출력하는 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)이 존재하고, MPP는 주변 환경에 의해 실시간 변하기 때문에 효율적인 에너지 수확을 위해선 최대전력점 추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking)이 필요하다. 다양한 MPPT 방법들 중에 힐-클라이밍(hill-climbing) 방식과 FOC(fractional open-circuit) 방식이 주로 사용되고 있다. 힐-클라이밍(hill-climbing) 방식은 MPP에 도달할 때까지 전력변환기(power converter)의 스위칭 주파수나 듀티 사이클(duty cycle)을 지속적으로 변화시키는 방식이고, FOC 방식은 광전지(PV) 셀의 MPP 전압과 개방회로 전압 사이의 선형적 관계를 이용하는 방법이다.

[0004] 에너지 하베스팅은 주변 환경변화에 따라 수확되는 에너지양이 변하기 때문에 하나의 에너지원을 이용하는 것보다는 여러 개의 에너지원을 이용하여 에너지를 수확하는 것이 환경변화에 덜 민감하다. 기존에 발표된 다중 입력 에너지 하베스팅 방식으로는 각 에너지원에서 수확된 에너지를 저장 커패시터에 저장한 후 저장 커패시터들을 직렬 연결하여 합치거나(비특허문헌 [2]), 순간적으로 최대 전력을 출력하는 에너지원을 선택하여 수확하는 방법(비특허문헌 [3])이 있다. 여러 개의 에너지를 동시에 수확하는 방법으로는 스위칭 유형의 DC-DC 변환기 구조가 많이 사용되고 있으며, 여러 개의 인덕터를 사용하는 방식과 하나의 인덕터를 공유하는 방식이 제안되고 있다. 그러나 이들 방식은 부피가 큰 외부 인덕터가 필요하며, MPPT 기능을 구현하기 위해서는 각각의 에너지원에 별도의 MPPT 회로가 필요하기 때문에 초소형, 초저전력 센서에는 적합하지 않을 수 있다.

[0005] 기존의 MPPT가 적용된 다중 입력 에너지 하베스팅 중 비특허문헌 [5]는 하나의 인덕터를 이용하여 빛, 진동 및 열에너지를 MPPT를 적용하여 수확하는 시스템을 제안하고 있으나, 진동과 열에너지는 MPP를 안다는 가정하에 DC-DC 변환기의 입력 임피던스를 고정하는 방법을 사용하고 있으며, 빛에너지에 대해서만 힐-클라이밍(hill-climbing) 방식의 MPPT를 적용하고 있다. 비특허문헌 [4]는 각 에너지원에 힐-클라이밍 방식의 MPPT를 적용하였으나 마이크로컨트롤러를 이용해 구현하였기 때문에 많은 비용과 전력이 요구되는 문제가 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0006] (비특허문헌 0001) [1] J. Colomer-Farrarons, P. Miribel-Catala, A. Saiz-Vela, M. Puig-Vidal, and J. Samitier, "Power-Conditioning Circuitry for a Self-Powered System Based on Micro PZT Generators in a 0.13 μ m Low-Voltage Low-Power Technology," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, no. 9, pp. 3249-3257, September 2008.

(비특허문헌 0002) [2] N. J. Guilar, R.Amirtharajah, P. J.Hurst, and S.H. Lewis, "An energy aware multiple-input power supply with charge recovery for energy harvesting applications," Dig. Tech.

Papers in IEEE ISSCC, pp. 298-299, 2009.

(비특허문헌 0003) [3] H. Lhermet, C. Condemine, M. Plissonnier, R. Salot, P. Audebert, and M. Rosset, "Efficient power management circuit: From thermal energy harvesting to above-IC microbattery energy storage," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 43, no. 1, pp. 246-255, Jan. 2008.

(비특허문헌 0004) [4] Y. C. Kuoa, Y. M. Huanga, L. J. Liub, "Integrated circuit and system design for renewable energy inverters," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 64, pp. 50-57, 2014.

(비특허문헌 0005) [5] S. Bandyopadhyay and A.P. Chandrakasan, "Platform Architecture for Solar, Thermal, and Vibration Energy Combining With MPPT and Single Inductor" IEEE Journal of Solid-State Circuits, pp. 2199-2215, 2012.

(비특허문헌 0006) [6] Y. S. Yuk, et.al., "An energy pile-up resonance circuit extracting maximum 422% energy from piezoelectric material in a dual-source energy-harvesting interface," 2014 Dig. Tech. Papers in IEEE ISSCC, pp. 402-403, 2014.

(비특허문헌 0007) [7] C. Lu, V. Raghunathan, and K. Roy, "Maximum Power Point Considerations in Micro-Scale Solar Energy Harvesting Systems," ISCAS, pp. 273-276, 2010.

(비특허문헌 0008) [8] K. Kadirvel, Y. Ramadass, U. Lyles, J. Carpenter, V.I vanov, V. McNeil, A. Chandrakasan, B. Lum-Shue-Chan, "A 330nA energy-harvesting charger with battery management for solar and thermoelectric energy harvesting," 2012 IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers, pp. 106-108, 2012.

(비특허문헌 0009) [9] E. Mendez-Delgado, G. Serranoy and E. I. Ortiz-Rivera, "Monolithic integrated solar energy harvesting system," 35th IEEE PVSC, pp. 2833-2838, 2010.

(비특허문헌 0010) [10] 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, pp. 291-294, 2005.

(비특허문헌 0011) [11] D. H. Lee, J. H. Jeon, J. T. Park and C. G. Yu, "Design of a High-Efficiency Rectifier for Vibration Energy Harvesting," The Institute of Electronics and Information Engineers, 2010 SoC Conference, pp.197-200, 2010.

(비특허문헌 0012) [12] E. J. Yoon, I. H. Hwang, J. T. Park and C. G. Yu, "Design of an Energy Harvesting Circuit Using Solar and Vibration Energy with MPPT Control," Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers, Vol. 16, No. 3, pp.224-234, 2012.

(비특허문헌 0013) [13] M. Ghovanloo and K. Najafi, "Fully integrated wideband high-current rectifiers for inductively powered devices," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 39, 2004, pp. 1976-1984.

(비특허문헌 0014) [14] T. Y. Man, P. K. T. Mok, and M. J. Chan, "A 0.9V Input Discontinuous Conduction Mode Boost Converter With CMOS Control Rectifier" IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 43, pp. 2036-2046, Sep. 2008.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]

본 발명이 해결하고자 하는 과제는 환경 변화에 덜 민감하고 각 에너지원의 MPPT 회로를 하나로 병합할 수 있어 전체 시스템의 크기와 비용을 줄여 초소형 센서 노드에 적용이 용이하며, 자동 스위칭 기능을 적용하여 출력 전력이 더 큰 에너지원으로부터 최대 가용 전력을 수확할 수 있는, 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는,
- [0009] 진동을 전기로 변환하기 위한 압전 변환부;
- [0010] 열을 전기로 변환하기 위한 열전 변환부;
- [0011] 상기 압전 변환부에서 출력되는 전압과 상기 열전 변환부에서 출력되는 전압 중 더 높은 전압이 출력되도록 하는 전력 스위칭부; 및
- [0012] 상기 압전 변환부와 상기 열전 변환부에서 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)의 전압이 출력되도록 하는 최대전력점 추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어부를 포함한다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 있어서, 상기 전력 스위칭부는,
- [0014] 상기 압전 변환부에서 출력되는 전압의 공급을 단속하기 위한 제1 전력 스위칭부;
- [0015] 상기 열전 변환부에서 출력되는 전압의 공급을 단속하기 위한 제2 전력 스위칭부; 및
- [0016] 상기 압전 변환부의 출력 전압과 상기 열전 변환부의 출력 전압 중 더 높은 전압이 출력되도록, 상기 제1 전력 스위칭부와 상기 제2 전력 스위칭부의 동작을 제어하기 위한 자동 스위칭 제어부를 포함할 수 있다.
- [0017] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 있어서,
- [0018] 상기 제1 전력 스위칭부는,
- [0019] 상기 압전 변환부의 출력에 연결되는 제1 전력 스위치; 및
- [0020] 상기 자동 스위칭 제어부의 제어 신호에 따라 상기 제1 전력 스위치를 온 또는 오프시키기 위한 제1 전력 스위칭 회로를 포함하고,
- [0021] 상기 제2 전력 스위칭부는,
- [0022] 상기 열전 변환부의 출력에 연결되는 제2 전력 스위치; 및
- [0023] 상기 자동 스위칭 제어부의 제어 신호에 따라 상기 제2 전력 스위치를 온 또는 오프시키기 위한 제2 전력 스위칭 회로를 포함할 수 있다.
- [0024] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 있어서,
- [0025] 상기 자동 스위칭 제어부는,
- [0026] 상기 압전 변환부의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부의 개방회로 전압을 비교하여, 상기 압전 변환부의 개방회로 전압이 상기 열전 변환부의 개방회로 전압보다 높은 경우, 상기 제1 전력 스위치를 온(on)시키고 상기 제2 전력 스위치를 오프(off)시키기 위한 신호를 출력하며,
- [0027] 상기 열전 변환부의 개방회로 전압이 상기 압전 변환부의 개방회로 전압보다 높은 경우, 상기 제1 전력 스위치를 오프(off)시키고 상기 제2 전력 스위치를 온(on)시키기 위한 신호를 출력할 수 있다.
- [0028] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는,
- [0029] 상기 제1 전력 스위치의 바디 단자에 연결된 제1 벌크 레귤레이션 회로; 및
- [0030] 상기 제2 전력 스위치의 바디 단자에 연결된 제2 벌크 레귤레이션 회로를 더 포함할 수 있다.
- [0031] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 상기 압전 변환부에서 출력된 전압 또는 상기 열전 변환부에서 출력된 전압을 부하 전력 공급 제어 신호에 따라 부하에 공급하거나 공급하지 않는 부하 전력 공급 단속 스위치를 더 포함하고,
- [0032] 상기 최대전력점 추적(MPPT) 제어부는,
- [0033] 상기 압전 변환부의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부의 개방회로 전압을 획득하고, 상기 획득된 개방회로 전

압들에 기반하여 상기 부하 전력 공급 단속 스위치의 동작을 제어하여 부하로의 전력 공급을 단속함으로써 상기 압전 변환부와 상기 열전 변환부에서 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)의 전압이 출력되도록 할 수 있다.

- [0034] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 상기 압전 변환부의 출력 또는 상기 열전 변환부의 출력을 저장하기 위한 저장 커패시터를 더 포함하고,
- [0035] 상기 최대전력점 추적(MPPT) 제어부는,
- [0036] 소정의 동작 펄스를 발생시키기 위한 펄스 발생기;
- [0037] 상기 압전 변환부의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부의 개방회로 전압을 획득하기 위한 샘플러; 및
- [0038] 상기 펄스 발생기의 출력 및 상기 저장 커패시터의 전압에 기반하여 상기 부하 전력 공급 단속 스위치의 동작을 제어하기 위한 인에이블 발생기를 포함할 수 있다.
- [0039] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 있어서,
- [0040] 상기 제1 전력 스위칭 회로는 상기 압전 변환부의 출력 전압과 상기 저장 커패시터의 전압을 비교하여 더 높은 전압을 논리 레벨 '1'로 출력하고,
- [0041] 상기 제2 전력 스위칭 회로는 상기 열전 변환부의 출력 전압과 상기 저장 커패시터의 전압을 비교하여 더 높은 전압을 논리 레벨 '1'로 출력할 수 있다.
- [0042] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 있어서,
- [0043] 상기 열전 변환부는 열전 소자를 포함하고,
- [0044] 상기 압전 변환부는,
- [0045] 진동을 전기로 변환하기 위한 압전소자; 및
- [0046] 상기 압전소자에서 출력되는 교류(AC) 전압을 직류(DC) 전압으로 변환하기 위한 AC-DC 변환기를 포함할 수 있다.
- [0047] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 있어서,
- [0048] 상기 AC-DC 변환기는,
- [0049] 2개의 능동 다이오드와 2개의 MOS 스위치를 포함하는 능동 AC-DC 변환기를 포함하고,
- [0050] 상기 능동 다이오드 각각은 PMOS 스위치와 비교기를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0051] 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로에 의하면, 환경 변화에 덜 민감하고 각 에너지원의 MPPT 회로를 하나로 병합할 수 있어 전체 시스템의 크기와 비용을 줄여 초소형 센서 노드에 적용이 용이하며, 자동 스위칭 기능을 적용하여 출력 전력이 더 큰 에너지원으로부터 최대 가용 전력을 수확할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0052] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로를 도시한 블록도.
- 도 2a 및 도 2b는 에너지 변환소자의 등가회로를 도시한 도면.
- 도 3은 압전소자와 열전소자의 전류-전압 특성 및 전력-전압 특성을 도시한 그래프.
- 도 4는 AC-DC 변환기의 상세 회로도.
- 도 5는 MPPT 제어부의 상세 블록도.
- 도 6은 펄스 발생기의 출력 파형을 도시한 도면.
- 도 7은 자동 스위칭 제어부의 상세 블록도.

도 8은 자동 스위칭 제어부의 동작 파형을 도시한 도면.

도 9는 제1 및 제2 전력 스위칭 회로의 상세 회로도.

도 10은 자동 스위칭 및 전력 스위칭의 모의실험 결과를 도시한 도면.

도 11은 V_{TEG} , V_{Sto} 및 V_{Load} 의 파형을 도시한 도면.

도 12는 MPPT 제어부의 모의실험 결과를 도시한 도면.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로의 전력 효율을 도시한 도면.

도 14는 설계된 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로의 레이아웃을 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0053] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다.
- [0054] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.
- [0055] 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다.
- [0056] 또한, "제1", "제2", "일면", "타면" 등의 용어는, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0057] 이하, 본 발명을 설명함에 있어, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0058] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.
- [0059] 본 발명의 일 실시예에서는 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로를 제안한다. 열전소자와 진동소자로부터 출력되는 에너지는 최대 가용전력지점이 개방전압의 1/2로 같기 때문에 동일한 최대전력점 추정(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어 회로를 사용할 수 있다. 제안된 회로는 하나의 MPPT 제어 회로를 사용하고, 자동 스위칭 기능을 적용하여 열전소자의 출력과 진동소자의 출력을 모니터링하여 전압이 더 높은 소자로부터 최대 가용전력을 수확한다.
- [0060] 초소형, 초저전력 센서노드와 같은 응용분야의 경우에는 아주 작은 전력으로도 구동할 수 있도록 구현되어야 하기 때문에, 다중 에너지원으로부터 동시에 에너지를 수확할 필요성은 크지 않을 수 있다. 오히려 필요한 개별 소자 수를 줄여서 시스템의 크기와 무게를 줄이고 비용을 절감하는 것이 우선순위가 될 수 있다.
- [0061] 따라서 본 발명의 일 실시예에서는 동일한 MPPT 제어회로를 사용할 수 있는 진동과 열에너지를 에너지원으로 선택하고, 자동 스위칭 기능을 적용하여 출력 전력이 더 큰 에너지원으로부터 최대 가용 전력을 수확할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안된 회로는 하나의 MPPT 제어 회로를 사용하기 때문에 전체 시스템의 크기를 줄이고 비용을 절감하는데 적합하다.
- [0062] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로를 도시한 블록도이다.
- [0063] 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 진동을 전기로 변환하기 위한 압전 변환부(100), 열을 전기로 변환하기 위한 열전 변환부(112), 상기 압전 변환부(100)에서 출력되는 전압(V_{VB})과 상기 열전 변환부(112)에서 출력되는 전압(V_{TEG}) 중 더 높은 전압이 출력되도록 하는 전력 스위칭부(111), 및 상기 압전 변환부(100)와 상기 열전 변환부(112)에서 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)의 전압이 출력되도록 하는 최대전력점 추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어부(118)를 포함한다.

- [0064] 상기 전력 스위칭부(111)는, 상기 압전 변환부(100)에서 출력되는 전압(V_{VB})의 공급을 단속하기 위한 제1 전력 스위칭부($SW1_{VB}$, 110), 상기 열전 변환부(112)에서 출력되는 전압(V_{TEG})의 공급을 단속하기 위한 제2 전력 스위칭부($SW1_{TRG}$, 114), 및 상기 압전 변환부(100)의 출력 전압(V_{VB})과 상기 열전 변환부(112)의 출력 전압(V_{TEG}) 중 더 높은 전압이 출력되도록, 상기 제1 전력 스위칭부($SW1_{VB}$, 110)와 상기 제2 전력 스위칭부($SW1_{TRG}$, 114)의 동작을 제어하기 위한 자동 스위칭 제어부(116)를 포함한다.
- [0065] 상기 제1 전력 스위칭부($SW1_{VB}$, 110)는, 상기 압전 변환부(100)의 출력에 연결되는 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$) 및 상기 자동 스위칭 제어부(116)의 제어 신호(VMC)에 따라 상기 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)를 온 또는 오프시키기 위한 제1 전력 스위칭 회로(110)를 포함한다.
- [0066] 상기 제2 전력 스위칭부($SW1_{TRG}$, 114)는, 상기 열전 변환부(112)의 출력에 연결되는 제2 전력 스위치($SW1_{TRG}$) 및 상기 자동 스위칭 제어부(116)의 제어 신호(TMC)에 따라 상기 제2 전력 스위치($SW1_{TRG}$)를 온 또는 오프시키기 위한 제2 전력 스위칭 회로(114)를 포함한다.
- [0067] 상기 자동 스위칭 제어부(116)는, 상기 압전 변환부(100)의 개방회로 전압($V_{VB,OC}$)과 상기 열전 변환부(112)의 개방회로 전압($V_{TEG,OC}$)을 비교하여, 상기 압전 변환부(100)의 개방회로 전압($V_{VB,OC}$)이 상기 열전 변환부(112)의 개방회로 전압($V_{TEG,OC}$)보다 높은 경우, 상기 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)를 온(on)시키고 상기 제2 전력 스위치($SW1_{TRG}$)를 오프(off)시키기 위한 신호를 출력하며, 상기 열전 변환부(112)의 개방회로 전압($V_{TEG,OC}$)이 상기 압전 변환부(100)의 개방회로 전압($V_{VB,OC}$)보다 높은 경우, 상기 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)를 오프(off)시키고 상기 제2 전력 스위치($SW1_{TRG}$)를 온(on)시키기 위한 신호를 출력한다.
- [0068] 또한, 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 상기 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)의 바디 단자(미도시)에 연결된 제1 벌크 레귤레이션 회로(106) 및 상기 제2 전력 스위치($SW1_{TRG}$)의 바디 단자(미도시)에 연결된 제2 벌크 레귤레이션 회로(108)를 더 포함한다.
- [0069] 또한, 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 상기 압전 변환부(100)에서 출력된 전압(V_{VB}) 또는 상기 열전 변환부(112)에서 출력된 전압(V_{TEG})을 부하 전력 공급 제어 신호(EN)에 따라 부하(미도시)에 공급하거나 공급하지 않는 부하 전력 공급 단속 스위치($SW2$)를 더 포함한다.
- [0070] 또한, 상기 최대전력점 추적(MPPT) 제어부(118)는, 최대전력점(MPP) 전압과 개방회로 전압 사이의 선형적 관계를 이용하여 효율적으로 에너지를 수확하기 위한 것으로, 상기 압전 변환부(100)의 개방회로 전압($V_{VB,OC}$)과 상기 열전 변환부(112)의 개방회로 전압($V_{TEG,OC}$)을 획득하고, 상기 획득된 개방회로 전압들에 기반하여 상기 부하 전력 공급 단속 스위치($SW2$)의 동작을 제어하여, 부하로의 전력 공급을 단속함으로써 상기 압전 변환부(100)의 출력과 상기 열전 변환부(112)의 출력이 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)에서 동작하도록 한다.
- [0071] 또한, 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는, 상기 압전 변환부(100)의 출력 또는 상기 열전 변환부(112)의 출력을 저장하기 위한 저장 커패시터(C_{Sto})를 더 포함한다.
- [0072] 또한, 상기 열전 변환부(112)는 열전 소자를 포함하고, 상기 압전 변환부(100)는, 진동을 전기로 변환하기 위한 압전소자(102) 및 상기 압전소자(102)에서 출력되는 교류(AC) 전압을 직류(DC) 전압으로 변환하기 위한 AC-DC 변환기(104)를 포함한다. 본 발명의 일 실시예에서는 진동을 전기로 변환하기 위한 소자로서 압전소자를 사용하였지만, 본 발명은 이에 한정되지 않고 진동을 전기로 변환하기 위한 어떠한 형태의 진동-전기 변환소자도 진동을 전기로 변환하기 위한 소자로서 사용될 수 있다.
- [0073] 도 1을 다시 참조하면, 진동 에너지 단인 압전 변환부(100)와 열에너지 단인 열전 변환부(112)는 병렬로 연결되며 MPPT를 통해 수확된 에너지는 저장 커패시터(C_{Sto})에 저장되어 부하 전력 공급 스위치($SW2$)를 통해 7부하(미도시)로 공급된다.
- [0074] 에너지 변환소자는 수확된 에너지를 전기에너지로 변환하는 역할을 하며, 진동에너지는 압전 변환부(100)에 포

합된 압전소자(PEG: Piezoelectric Generator)(102), 열에너지는 열전 변환부(112)의 열전소자(TEG: Thermoelectric Generator)에 의해 전기에너지로 변환된다.

- [0075] 자동 스위칭 제어부(116)는 두 에너지원 중에 더 높은 전압을 출력하는 에너지원을 선택하기 위한 제어신호(VMC, TMC)를 출력한다.
- [0076] 제1 전력 스위칭 회로(110)와 제2 전력 스위칭 회로(114)는 자동 스위칭 제어부(116)에서 출력된 신호(VMC, TMC)를 기반으로 각 단의 pMOS 전력 스위치인 제1 전력 스위치(SW1,VB)와 제2 전력 스위치(SW1,TEG)에 각각 온/오프(on/off) 신호(VPSW, TPSW)를 출력한다.
- [0077] 제1 전력 스위치(SW1,VB)와 제2 전력 스위치(SW1,TEG)에서의 누설 전류를 차단하기 위해 제1 전력 스위칭 회로(110)와 제2 전력 스위칭 회로(114)는 에너지 변환소자의 출력전압(V_{VB} 또는 V_{TEG})과 V_{Sto}의 크기를 비교하여, 전압이 더 높은 쪽의 신호를 pMOS 전력 스위치인 제1 전력 스위치(SW1,VB) 또는 제2 전력 스위치(SW1,TEG)의 게이트에 인가한다.
- [0078] 또한 제1 전력 스위치(SW1,VB) 또는 제2 전력 스위치(SW1,TEG)의 바디(body) 단자(미도시)에는 각각 벌크 레귤레이션(bulk regulation) 회로(106, 108)를 추가하여 기판 누설 전류와 래치-업(latch-up)의 가능성을 줄이고 전력 전달 효율을 높였다.
- [0079] MPPT 제어부(118)는 선택된 에너지 변환소자로부터 최대 가용 전력을 수확하기 위한 회로이며, 에너지 변환소자의 개방회로 전압(V_{OC})과 MPP에서의 전압(V_{MPP})간의 관계를 이용한 FOC 방식을 이용하여 구현하였다.
- [0080] 압전소자(100)는 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하며, 출력되는 신호는 교류형태이다. 따라서 교류신호를 직류신호로 바꾸어주는 AC-DC 변환기(104)가 필요하다. 도 2a는 압전소자의 등가 회로이다. 교류 전류원(I_{PEG})의 진폭은 진동의 주파수와 크기에 따라 변하며, C_{PEG}는 압전소자에 존재하는 고유의 커패시터이다.
- [0081] 본 발명의 일 실시예에서 사용된 압전소자(QP20W)의 경우 C_{PEG}의 값은 200nF이며, 80Hz의 주파수와 7m/s²의 진동 크기에서 개방회로 전압은 3V 이하이고 최대 생성 전력은 125μW 이다.
- [0082] 열에너지를 전기에너지로 변환하기 위한 열전소자(112)는 두 개의 서로 다른 금속 접합부의 온도차에 의해 기전력이 발생하는 제베크 효과(Seebeck effect)를 이용한다. 도 2b는 열전소자의 등가회로로서 전압전원(V_{TE})과 열전소자의 직렬 기생저항(R_{TEG})로 모델링된다. 본 발명의 일 실시예에서 사용된 열전소자(112)는, MEMS 공정으로 제작된 열전소자를 참고하여 개방회로 전압은 3V이고 내부저항은 20kΩ인 등가회로를 이용하여 회로설계를 하였다.
- [0083] 도 3은 압전소자(100)(AC-DC 변환기(104) 포함)와 열전소자(112)의 전류-전압(I-V) 특성 및 전력-전압(P-V) 특성이다. 압전소자 및 열전소자의 경우 개방회로 전압의 절반이 되는 1/2V_{OC} 지점에서 최대 가용 전력을 출력하는데 이를 최대전력점(MPP: Maximum Power Point)이라 하고, MPP에서의 전압을 V_{MPP}라 한다. 본 발명의 일 실시예에서는 하기의 수학적 1의 에너지 변환소자의 개방회로 전압(V_{OC})과 MPP에서의 전압(V_{MPP})간의 관계를 이용하여 MPPT를 구현하였다.

수학적 1

$$V_{MPP} = \frac{1}{2} V_{OC}$$

[0084]

- [0085] 도 4는 설계된 AC-DC 변환기(104)의 구조이며 압전소자(102)에서 생성된 AC 전압을 DC 전압으로 전과 정류하는 역할을 한다. 기존의 4개의 다이오드로 구성된 전파 정류기는 다이오드의 전압 강하로 전력 변환 효율이 떨어지는 단점이 있다. 4개의 MOSFET으로 구성된 정류기는 스위치에서의 전압 강하는 감소하지만 전류의 역 흐름을 차단하지 못해 전력 변환 효율이 떨어진다.

- [0086] 본 발명의 일 실시예에서 AC-DC 변환기(104)는, 2개의 능동 다이오드(400, 402)와 2개의 MOS 스위치(M2, M4)를 포함하는 능동 AC-DC 변환기로 구성되고, 상기 능동 다이오드(400)는 PMOS 스위치(M1)와 비교기(CP1)를 포함하며, 상기 능동 다이오드(402)는 PMOS 스위치(M3)와 비교기(CP2)를 포함한다.
- [0087] 본 발명의 일 실시예에서 AC-DC 변환기(104)는 트랜지스터의 문턱전압에 의한 손실을 최소화할 수 있으며, 역전류를 효과적으로 차단하여 효율을 높일 수 있다.
- [0088] PMOS 스위치(M1, M3)와 비교기(CP1, CP2)로 구성된 능동 다이오드(400, 402)는 출력전압(V_{VB})이 입력전압(V_{PEG})보다 커지면 비교기(CP1, CP2)의 출력이 '1'이 되어 PMOS 스위치(M1, M3)를 오프시켜 역전류를 차단하고, 출력전압(V_{VB})이 입력전압(V_{PEG})보다 작아지면 PMOS 스위치(M1, M3)를 온시켜 큰 전압강하 없이 입력을 출력에 전달한다.
- [0089] 즉, 본 발명의 일 실시예에서는 MOSFET 스위치(M1, M3)에 비교기(CP1, CP2)를 추가한 능동(active) 다이오드를 사용하여, 이전 구조의 정류기에서 발생하던 문제점을 개선하였다. 모의실험 결과 최대 효율은 20kΩ의 부하저항에서 95.6% 이다.
- [0090] MPPT 제어부(118)는 도 5에 도시된 바와 같이, 소정의 동작 펄스를 발생시키기 위한 펄스 발생기(500), 상기 압전 변환부(100)의 개방회로 전압과 상기 열전 변환부(112)의 개방회로 전압을 획득하기 위한 샘플러(508), 및 상기 샘플러(508)의 출력 및 상기 저장 커패시터(C_{Sto})의 전압에 기반하여 상기 부하 전력 공급 단속 스위치(SW2)의 동작을 제어하기 위한 부하 전력 공급 제어 신호를 출력하는 인에이블 발생기(510)를 포함한다.
- [0091] 펄스 발생기(500)에서 출력되는 MC 신호(MC)는 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)와 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)의 온/오프 신호를 발생시키는데 이용되며, 샘플러(508)의 샘플/홀드 신호로도 사용된다.
- [0092] MC 신호(MC)는 도 6에 도시된 바와 같이, CLK 신호의 128-사이클 주기로 출력된다. MC 신호(MC)가 '1'일 때는 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)와 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)를 오프시켜 에너지 변환소자인 압전 변환부(102)와 열전 변환부(112)가 개방회로 전압을 출력하도록 하고, MC 신호(MC)가 '0'일 때는 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)와 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)를 온시켜 압전 변환부(102)와 열전 변환부(112)의 최대 전력이 부하에 공급되도록 한다.
- [0093] 샘플러(508)는 MC 신호(MC)에 의해 압전 변환부(102)와 열전 변환부(112)의 개방회로 전압을 주기적으로 샘플링하고, 샘플링한 값으로 MPPT 기준전압인 $V_{MPP,MAX}$ 와 $V_{MPP,MIN}$ 을 생성하여 인에이블 발생기(510)에 공급한다.
- [0094] 인에이블 발생(510)는 MPPT 기준전압을 기준으로 $V_{Sto}/4$ 가 $V_{MPP,MAX}/4$ 보다 크면 부하로 전력을 공급하고 $V_{Sto}/4$ 가 $V_{MPP,MIN}/4$ 보다 작아지면 부하로의 전력공급을 차단하여, 압전 변환부(102)와 열전 변환부(112)의 출력이 항상 MPP 근처에서 동작하도록 한다.
- [0095] 열에너지 하베스터를 도 2b에 도시된 바와 같이 전압전원($V_{TEG,OC}$)과 저항(R_{TEG})의 직렬 회로로 등가적으로 나타낼 수 있듯이, 진동에너지 하베스터(AC-DC 변환기 포함)도 전압전원($V_{VB,OC}$)과 저항(R_{VB})의 직렬연결 회로로 등가적으로 나타낼 수 있다.
- [0096] 본 발명의 일 실시예에서 이용한 압전소자와 열전소자의 경우 내부 저항이 20kΩ으로 같다. 따라서 각 소자의 최대 가용전력은 개방회로 전압의 제곱에 비례하기 때문에, 개방회로 전압이 큰 소자가 가용전력이 더 크다.

수학식 2

$$P_{TEG,max} = \frac{V_{TEG,OC}^2}{4R_{TEG}}, \quad P_{VB,max} = \frac{V_{VB,OC}^2}{4R_{VB}}$$

[0097]

- [0098] 두 소자의 내부저항이 같지 않은 경우에도 더 많은 비용이 요구되는 전력비교보다는 개방회로 전압만을 간단히 비교하여 에너지원을 선택해도 큰 문제는 없다. 두 에너지원이 동시에 에너지를 수확할 확률은 그리 크지 않으며, 동시에 수확하는 경우에도 본 발명의 일 실시예에서는 둘 중 어느 하나의 에너지원만으로도 구동 가능한 용

용분야를 목표로 하기 때문에, 간단한 방법으로 구현하는 것이 더 중요하다.

- [0099] 자동 스위칭 제어부(116)는 압전 변환부(100)의 개방회로 전압($V_{VB,OC}$)과 열전변환부(112)의 개방회로 전압($V_{TEG,OC}$)을 비교하여, 더 높은 전압을 출력하는 에너지 단의 전력 스위치는 온(on)시키고, 낮은 전압을 출력하는 에너지 단의 전력 스위치는 오프(off)시키기 위한 신호(VMC, TMC)를 출력한다.
- [0100] 구성은 도 7에 도시된 바와 같이 비교기(700)와 디지털 블록(702, 704, 706, 708, 710, 712)으로 구성된다. 비교기(700)는 MC 신호(MC)가 '1'일 때 출력되는 $V_{VB,OC}$ 와 $V_{TEG,OC}$ 를 비교하고, 비교된 결과는 D-래치(702)에 저장된다.
- [0101] 디지털 블록(702, 704, 706, 708, 710, 712)은 파워 온 리셋(POR: power on reset) 신호와 MPPT 제어부(118)의 MC 신호(MC)에 의해 동작된다. 그 결과 진동에너지 단인 압전 변환부(100)의 제1 전력 스위칭 회로(110)에 VMC를 전달하고, 열에너지 단인 열전 변환부(112)의 제2 전력스위칭 회로(114)에는 TMC를 전달한다. VMC와 TMC는 각 단의 전력스위치(110, 114)의 온/오프 신호(VPSW, TPSW)와 과형은 동일하나 전력 스위칭이 되기 전의 신호로 '1'의 크기가 V_{Sto} 와 동일하다.
- [0102] 도 8은 t_2 까지는 $V_{VB,OC}$ 가 $V_{TEG,OC}$ 보다 높고, t_2 이후에는 $V_{VB,OC}$ 가 $V_{TEG,OC}$ 보다 낮아지는 경우에 대해, 자동 스위칭 제어부(116)의 동작을 정리한 결과이다. 시스템 동작 초기에는 V_{Sto} 가 0V 이기 때문에 POR의 출력은 '0'이 되고, VMC와 TMC 또한 '0' 상태이다. 따라서 두 개의 전력스위치($SW1_{VB}$, $SW1_{TEG}$)는 동시에 온(on) 상태를 유지할 수 있도록 한다. 두 개의 에너지원 또는 한 쪽의 에너지원으로부터 에너지가 수확되어 V_{Sto} 가 회로 동작에 필요한 전압까지 승압을 하게 되면 POR은 '1'을 출력하게 된다. 이와 동시에 MC 신호가 출력되어 VMC와 TMC는 MC 신호에 의해 동작된다.
- [0103] 자동 스위칭 제어부(116)의 비교기(700)는 MC가 '1'인 동안 출력되는 각 에너지원의 V_{OC} 를 비교하여 더 높은 전압을 출력하는 에너지 단의 전력 스위치 신호는 MC 신호를 따르게 하고, 낮은 전압을 출력하는 에너지 단의 전력 스위치에는 '1'을 인가하여 스위치를 오프(off)시킨다. 그 결과 t_1 부터 t_2 까지 VMC는 MC를 따르고, TMC는 '1'을 유지하여 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)를 오프(off)시킨다. t_2 이후에는 $V_{TEG,OC}$ 가 $V_{VB,OC}$ 보다 높으므로 TMC가 MC 신호를 따르고 VMC는 '1'을 유지한다. 회로의 전류 소모를 줄이기 위해 비교기(700)를 MC 신호가 '1' 동안만 동작시키고, 나머지 동안은 오프(off)시키며, 오프(off) 동안에는 D-래치(702)에 비교기(700)의 출력 전압을 저장하도록 하였다.
- [0104] 도 9는 제1 전력 스위칭 회로(110)와 제2 전력 스위칭 회로(114)의 상세 회로도이다. 제1 전력 스위칭 회로(110)와 제2 전력 스위칭 회로(114)는 각각 복수의 트랜지스터(900, 902, 908, 910, 916, 918), 복수의 인버터(904, 906, 912, 914, 922, 924, 926, 928), 복수의 전류원(930, 932, 934, 936) 및 저항(920)을 포함한다. 각 에너지 단의 제1 전력 스위칭 회로(110)와 제2 전력 스위칭 회로(114)는 자동 스위칭 제어부(116)에서 출력되는 VMC와 TMC 신호를 각각의 입력으로 받아 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)와 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)에 온/오프(on/off) 신호(VPSW, TPSW)를 공급한다.
- [0105] 제1 전력 스위칭 회로(110)와 제2 전력 스위칭 회로(114)는, 에너지 변환소자인 압전 변환부(100)와 열전 변환부(112)의 출력과 저장 커패시터(C_{Sto})의 전압(V_{Sto})을 실시간 비교하여 더 높은 전압을 '1'로 출력하여 pMOS인 제1 전력 스위치($SW1_{VB}$)와 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)를 효과적으로 오프(off)시키는 역할을 한다.
- [0106] 예를 들어 $V_{VB,OC}$ 가 3V이고 $V_{TEG,OC}$ 가 2.8V이면, MPPT 동작 시 V_{Sto} 는 약 $1.5V(1/2V_{VB,OC})$ 가 되어야 되며, 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)는 오프(off)가 되어야 한다. pMOS 스위치인 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)를 오프(off)시키기 위해서 게이트에 '1'을 인가하게 되는데 전력 스위칭 회로(110, 114)를 사용하지 않으면 '1' 레벨에 해당되는 전압은 V_{Sto} , 즉 1.5V 정도가 된다. 그러나 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)의 소스단에는 게이트 전압보다 높은 2.8V가 인가되어 제2 전력 스위치($SW1_{TEG}$)가 제대로 오프(off)되지 않는 문제점이 발생한다.
- [0107] 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는 $0.35\mu m$ CMOS 공정으로 설계하였으며, 모의실험을 통해 동작을 검증하였다. 설계된 회로의 칩 면적은 패드(PAD)를 포함하여 $1.4mm \times 1.2mm$ 이다.

- [0108] 3V의 개방회로 전압과 80Hz의 주파수를 출력하는 압전소자와 3V의 개방회로 전압과 20k Ω 의 내부저항 특성을 갖는 열전소자를 이용하여 설계된 본 발명의 일 실시예에 의한 회로의 성능을 모의실험하였다. C_{VB} 는 300nF, C_{TEG} 는 100nF 그리고 C_{Sto} 는 47 μ F으로 설정하고, 부하에는 5k Ω 의 저항을 연결하여 모의실험 하였다.
- [0109] 도 10은 자동 스위칭과 전력 스위칭 동작 특성을 모의실험한 결과이다. 에너지 변환소자의 출력이 0초에서 2초 동안에는 $V_{VB,OC}$ 와 $V_{TEG,OC}$ 는 각각 2.8V와 0V이고, 2초 이후에는 각각 2.8V와 3.3V로 $V_{TEG,OC}$ 가 0V에서 3.3V로 변하는 경우, 자동 스위칭 및 전력 스위칭에 의한 출력신호들의 변화를 확인해 볼 수 있다.
- [0110] 초기 POR이 '0'을 출력해서 진동에너지 단의 제1 전력 스위치(SW1,VB)와 열에너지 단의 제2 전력 스위치(SW1,TEG)의 온/오프(on/off) 신호인 VPSW와 TPSW가 '0'이 되어 두 스위치가 온(on)이 되고, 진동에너지 단으로부터 전력을 공급 받아서 V_{Sto} 는 서서히 증가한다. V_{Sto} 가 1.1V가 되면 POR은 '1'을 출력하고 동시에 MC 신호가 출력되어 자동 스위칭 제어부(116)에서 $V_{VB,OC}$ 와 $V_{TEG,OC}$ 를 비교한다.
- [0111] 그 결과 0초부터 2초 동안 $V_{TEG,OC}$ 가 0V이므로 VPSW는 MC 신호를 따르고, TPSW는 '1'을 출력하는데 신호의 크기는 V_{Sto} 가 V_{TEG} 보다 크므로 V_{Sto} 의 전압크기를 따른다. 2초 이후에 $V_{VB,OC}$ 는 2.8V로 유지되나 $V_{TEG,OC}$ 의 전압이 3.3V로 증가하면서 VPSW는 '1'이 출력되고, TPSW는 MC 신호를 따라간다. 그러나 2초에서 3초 사이는 MC 신호에 의해 자동 스위칭 제어부(116)가 비교 동작 전이므로 VPSW는 MC 신호, TPSW는 '1'을 그대로 유지한다. TPSW의 신호 크기는 2초 전 V_{Sto} 의 전압 크기를 유지하다, 2초 이후 V_{TEG} 가 V_{Sto} 보다 크므로 TPSW가 V_{TEG} 의 전압 크기를 따라간다. 또한 VPSW의 '1'의 크기는 V_{Sto} 보다 V_{VB} 가 더 크므로 V_{VB} 의 전압을 따른다.
- [0112] 도 11과 도 12는 $V_{VB,OC}$ 는 0V, $V_{TEG,OC}$ 가 3V이고 부하 저항은 5k Ω 일 때의 모의 실험한 결과이다. 도 11은 V_{TEG} , V_{Sto} , V_{Load} 의 결과 파형이다. 열전소자(112)의 개방회로 전압을 샘플링하기 위해 V_{TEG} 는 MC 신호에 의해 주기적으로 개방회로 전압인 3V가 되고, 샘플링 구간을 제외하고 V_{TEG} 와 V_{Sto} 는 열전소자(112)의 MPP 전압인 개방회로 전압의 1/2 값 (1.5V)을 기준으로 유지되어 최대 전력이 출력되는 것을 알 수 있다. 따라서 MPPT 제어 의해 C_{TEG} 와 C_{Sto} 가 충전 및 방전을 반복하며, 방전될 때의 전압이 부하로 공급된다.
- [0113] 도 12는 MPPT 제어부(118)의 모의실험 결과이다. 샘플러(508)에 의해 생성된 MPPT 기준전압인 $V_{MPP,Max}/4$ 는 420mV, $V_{MPP,Min}/4$ 는 396.7mV가 되어, $V_{Sto}/4$ 가 이 사이 값에서 유지된다. 실제 V_{Sto} 는 1.4V에서 1.57V 사이로 제어되어, MPPT 제어부(118)는 실제 MPP 전압인 1.5V 근처에서 열전 변환부(112)의 출력을 제어한다. 부하로는 $V_{Sto}/4$ 가 $V_{MPP,Max}/4$ 에 도달하면 EN 신호가 '0'이 되어 pMOS 스위치인 부하 전력 공급 단속 스위치(SW2)가 온(on)되고, 열전 변환부(112)의 에너지가 부하로 공급된다. $V_{Sto}/4$ 가 $V_{MPP,Min}/4$ 이 되면 부하 전력 공급 단속 스위치(SW2)는 오프(off)가 되어 부하로의 에너지 공급이 차단된다.
- [0114] 도 13은 $V_{OC,VB}$ 가 3V이고 $V_{OC,TEG}$ 가 0V 일 때 진동에너지 하베스팅 회로의 전력 효율과, $V_{OC,VB}$ 가 0V이고 $V_{OC,TEG}$ 가 3V 일 때 열에너지 하베스팅 회로의 전력 효율을 정리한 결과이고, 부하저항은 200 Ω 에서 30k Ω 사이에서 측정하였다. 그 결과 진동에너지 하베스팅의 경우 최대 효율은 10k Ω 에서 91.5%이고, 열에너지 하베스팅의 경우는 15k Ω 에서 95.9%의 최대 효율을 보인다. 진동에너지의 경우 최대 95.6%(@20k Ω)의 전력 효율을 갖는 AC-DC 변환기를 거쳐 부하로 전력이 공급되기 때문에 열에너지 하베스팅의 경우보다 약간 낮은 전력 효율을 보인다.
- [0115] 도 14는 설계된 회로의 레이아웃이다. 칩 면적은 패드를 포함하여 1.4mm $\times$ 1.2mm이다.
- [0116] 표 1에 기존에 발표된 다중 입력 에너지 하베스팅 회로들의 성능을 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로의 성능과 비교 요약하였다. 비특허문헌 [3]은 RF와 열에너지에 대해 최대 전력을 출력하는 에너지원을 우선순위로 수확하는 방법을 적용하였으나, 열에너지 하베스팅 회로는 0.35 μ m 공정을 이용하고, RF 에너지에 대해서는 0.18 μ m 공정을 이용하여 설계하므로 비용과 면적 측면에서 불리하다. 비특허문헌 [5]는 MPPT를 적용하고 있으나 진동과 열에너지는 MPP를 안다는 가정하에 DC-DC 변환기의 입력 임피던스를 고정하는 방법을 사용하고 있으며, 빛에너지에 대해서만 힐-클라이밍(hill-climbing) 방식의 MPPT를 적용하고 있어 실제로 적용하기에는 한계가 있다. 또한 기존 연구들은 외부 소자를 커패시터 외에 인덕터를 추가적으로 사용하고 있어 초소형 센서 노드에 적용하기 불리하고, 전체 효율 또한 90% 이하를 보이고 있

다.

[0117] 본 발명의 일 실시예에 의한 진동과 열 에너지를 이용한 자동 스위칭 에너지 하베스팅 회로는 더 높은 전압을 출력하는 에너지원을 선택하여 에너지를 수확하는 구조이며, MPPT는 FOC 방법을 적용하였다. 전체 전류소모는 2.48 μ A이며, 최대 전력 효율은 진동에너지를 수확하는 경우 10k Ω 에서 91.5%, 열에너지는 15k Ω 에서 95.9%의 효율을 보였다.

표 1

	비특허문헌[2]	비특허문헌[3]	비특허문헌[5]		비특허문헌[6]	본 발명	
Technology (μ m)	0.25	0.35 & 0.18	0.35		0.35	0.35	
Input Source	Solar & Vib.	RF & Thermal	Solar & Vib. & Thermal		Vib. & Thermal	Vib. & Thermal	
Architecture	Stacking storage capacitors	Selecting the harvester with maximum instantaneous power	Single inductor sharing		Single inductor sharing	Auto-switching	
MPPT	×	×	Hill-climbing for only solar		×	FOC	
Maximum power efficiency(%) (End-to-end)	74.5	78	solar	83	74.9	AD-DC converter	95.6 @20k Ω
			vib.	79		Vibration	91.5 @10k Ω
			Thermal	58		Thermal	95.9 @15k Ω
External device	Inductor Capacitor	Inductor Capacitor	Inductor Capacitor		Inductor Capacitor	Capacitor	
Year	2009	2008	2012		2014	2015	

[0119] 본 발명의 일 실시예에서는 0.35 μ m CMOS 공정을 이용하여 자동 스위칭 기능과 MPPT 기능을 갖는 진동과 열에너지를 이용한 에너지 하베스팅 회로를 제안하였다. 설계된 회로는 각각의 에너지원을 자동 스위칭 제어 블록을 통해 실시간으로 감지하여 수확 가능한 에너지만을 수확하기 때문에, 기존에 단일 입력 하베스팅 회로보다 환경 변화에 덜 민감하다는 장점을 갖는다. 또한 진동과 열에너지의 개방회로 전압과 MPP에서의 전압간의 관계가 동일하다는 점을 이용하여, 각 에너지원의 MPPT 회로를 하나로 병합함으로써 전체 시스템의 크기와 비용을 줄여 초소형 센서노드에 적용이 용이하다. 설계된 회로는 요구되는 듀티 레이트(duty rate)가 비교적 낮으며, 진동과 열에너지를 얻기 쉬운 도로나 다리(bridge)와 같은 구조물 모니터링과, 산림 등의 환경모니터링에 적용될 수 있다.

[0120] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세하게 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함은 명백하다고 할 것이다.

[0121] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속하는 것으로, 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

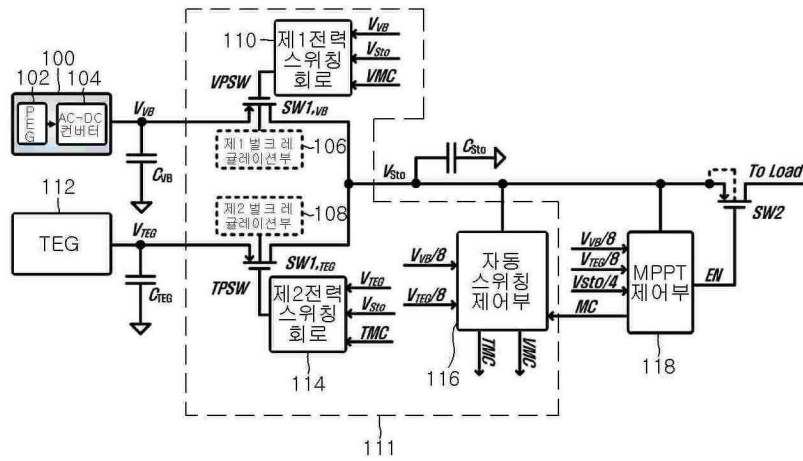
부호의 설명

[0122] 100 : 압전 변환부 102 : 압전소자
 104 : AC-DC 변환기 106, 108 : 벌크 레귤레이션 회로
 110 : 제1 전력 스위칭 회로 112 : 열전 변환부
 114 : 제2 전력 스위칭 회로 116 : 자동 스위칭 제어부
 118 : MPPT 제어부 400, 402 : 능동 다이오드
 500 : 펄스 발생기 502 : 클록 발생기
 504 : 카운터 506 : MC 생성기

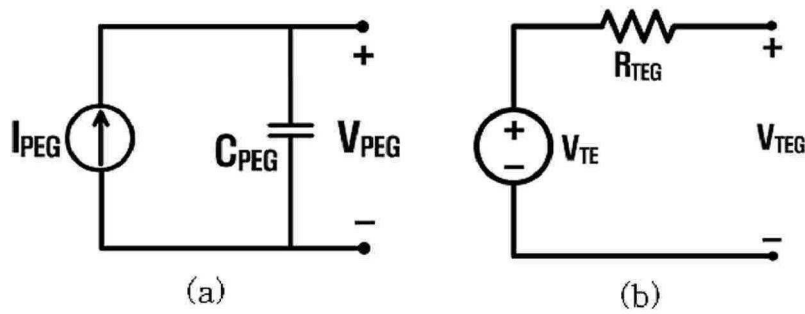
508 : 샘플러 510 : 인에이블 발생기

도면

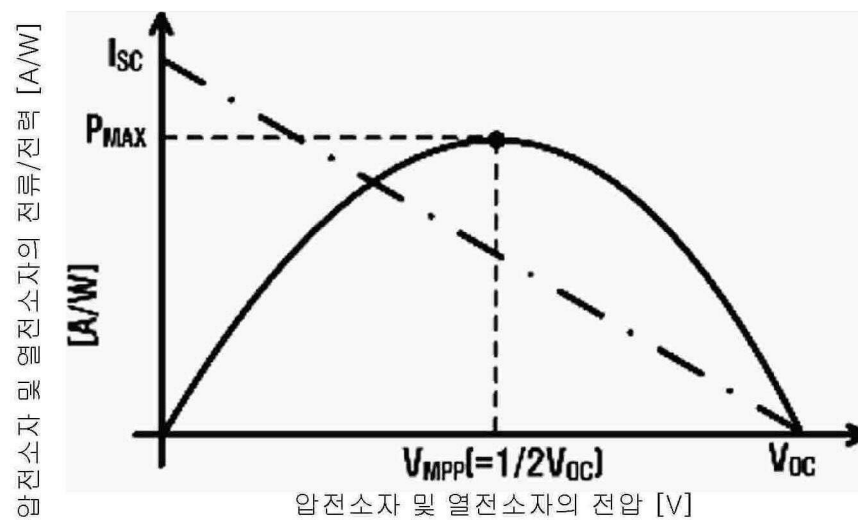
도면1



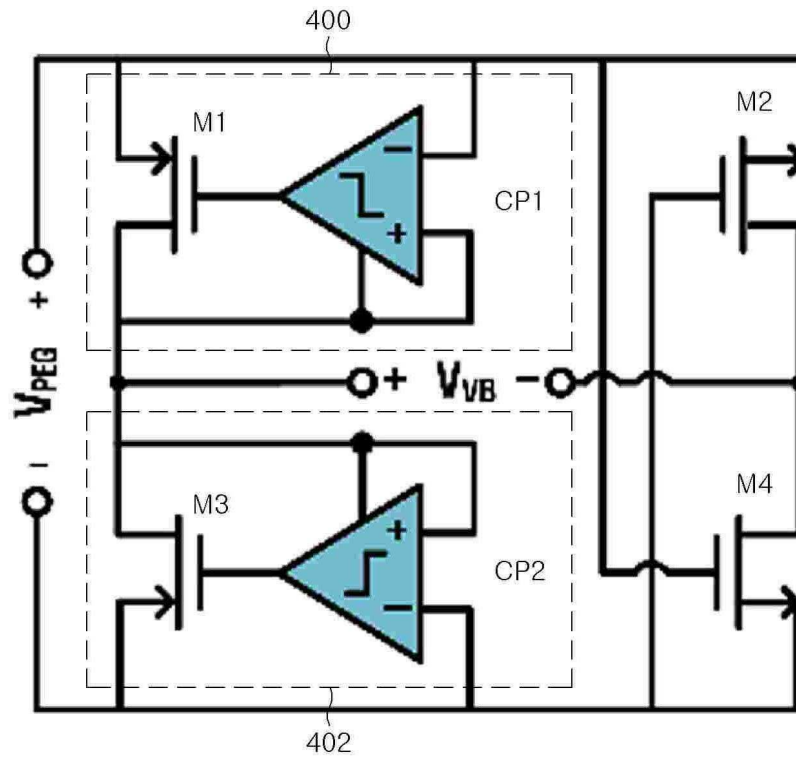
도면2



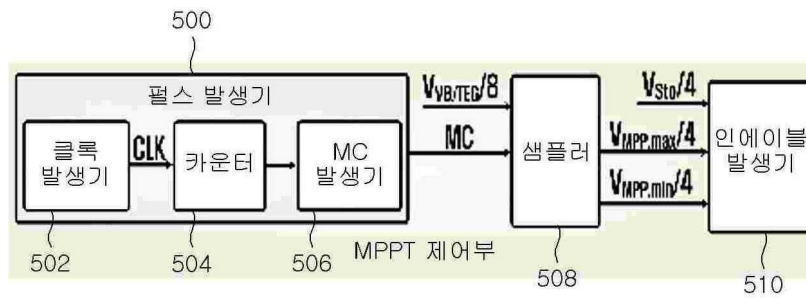
도면3



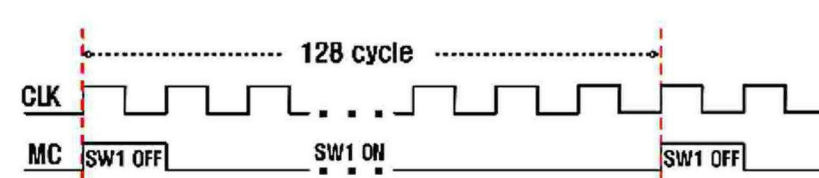
도면4



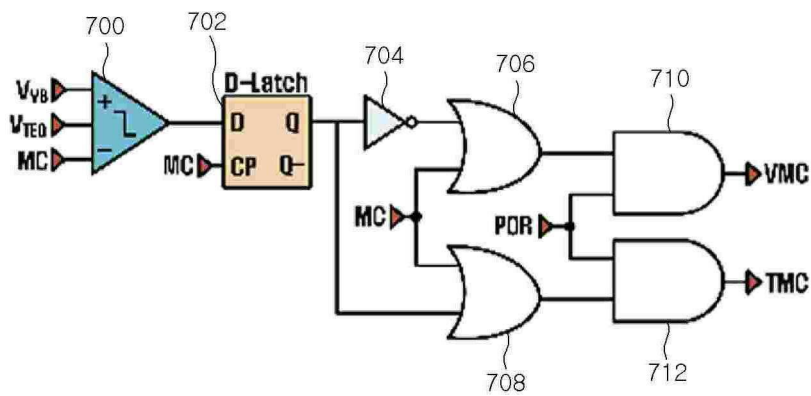
도면5



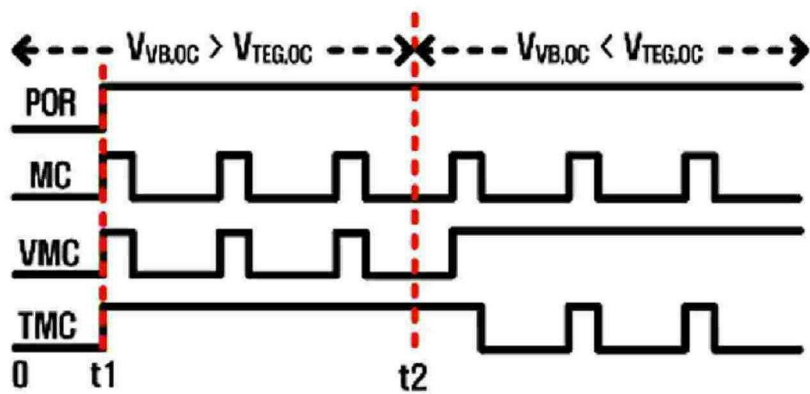
도면6



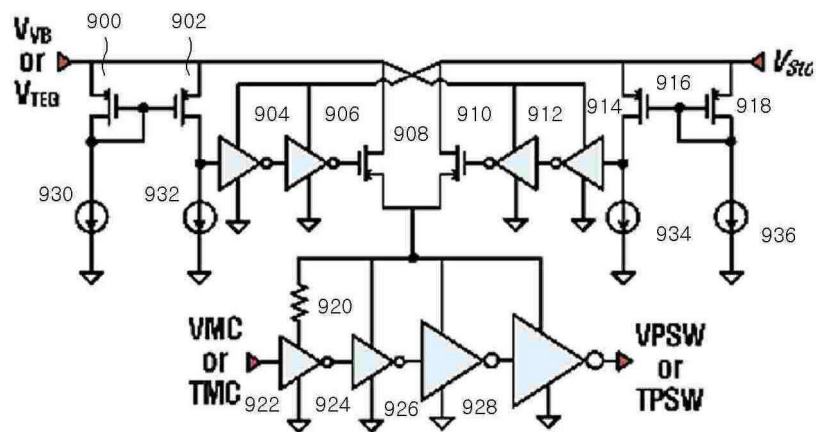
도면7



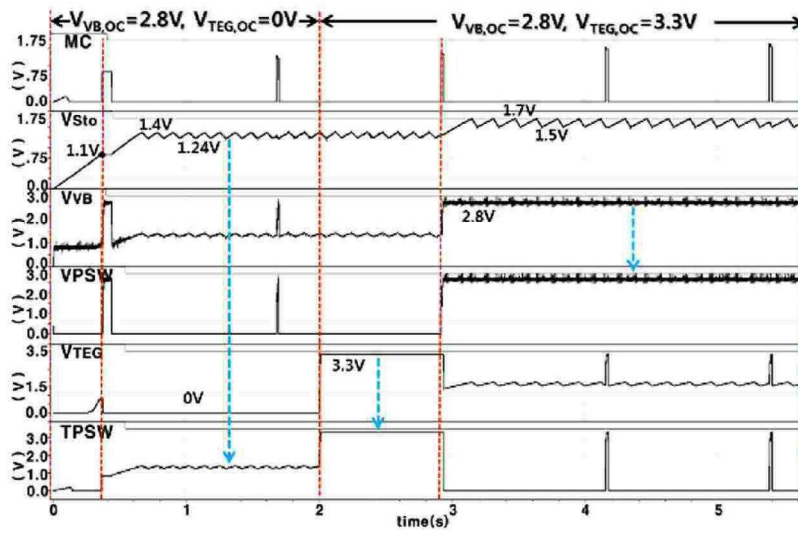
도면8



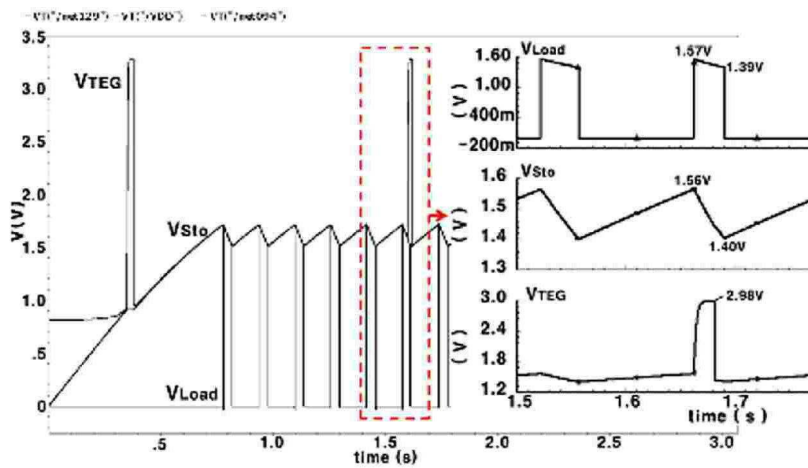
도면9



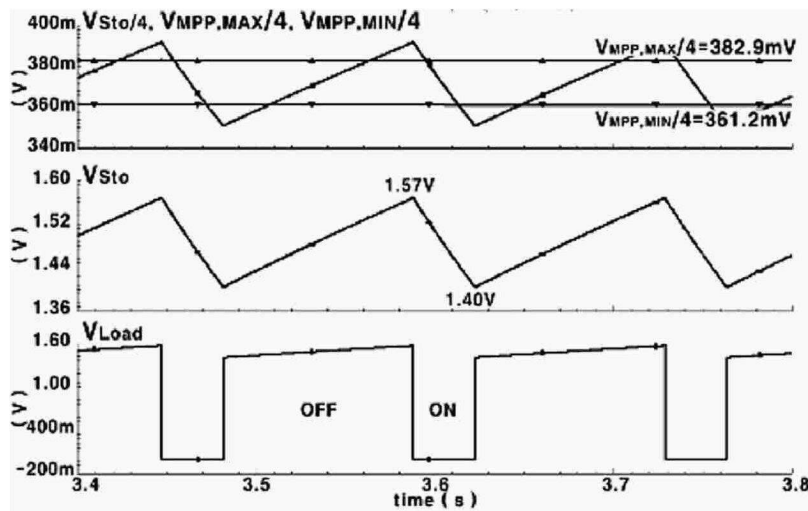
도면10



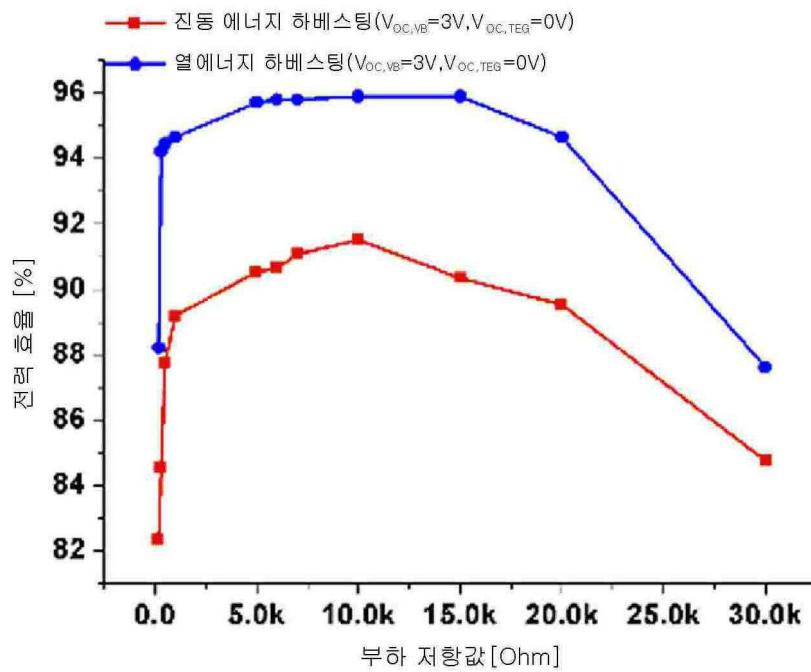
도면11



도면12



도면13



도면14

