(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0007524
(43) 공개일자 2024년01월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 7/34 (2006.01) *G01R 19/12* (2006.01)
G05F 1/67 (2006.01) *H02J 50/00* (2021.01)
H02M 3/158 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 7/34 (2013.01)
G01R 19/12 (2021.05)
(21) 출원번호 10-2022-0084565
(22) 출원일자 2022년07월08일
심사청구일자 2022년07월08일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김철우
서울특별시 강남구 선릉로 221
박인호
서울특별시 은평구 응암로 319(응암동, 서강스카이빌)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인주연케이알피

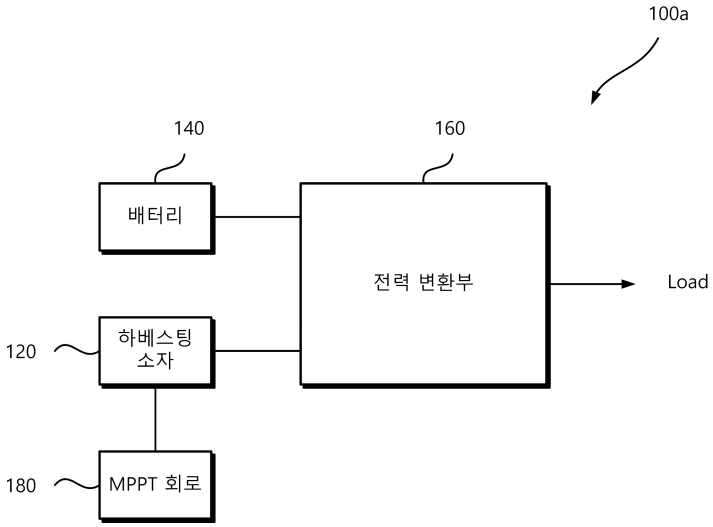
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **선형 보간 동작 기반의 최대 출력점 추적 기술을 이용한 하베스팅 소자용 전자 장치**

(57) 요 약

본 발명에 따르면, 하베스팅 소자; 배터리; 상기 하베스팅 소자 및 상기 배터리와 부하 사이에 연결된 인덕터 및 상기 인덕터에 연결된 복수의 스위치를 포함하고, 상기 복수의 스위치의 스위칭 동작에 기초하여 상기 하베스팅 소자, 상기 배터리, 상기 인덕터 및 상기 부하 중 적어도 두 개를 포함하는 복수의 경로로 전력을 전달하도록 구성되는 전력 변환부; 및 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점을 선형 보간 동작에 기초하여 추적하도록 구성되는 MPPT 회로를 포함하는 전자 장치이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G05F 1/67 (2013.01)
H02J 50/001 (2023.08)
H02M 3/1582 (2013.01)
(72) 발명자
전진우
서울특별시 강남구 선릉로112길 53(삼성동, 롯데캐슬킹덤아파트)
김현진
서울특별시 동대문구 약령시로 10(제기동)
박태형
서울특별시 양천구 목동동로 130(신정동, 목동신시가지아파트14단지)

명 세 서

청구범위

청구항 1

하베스팅 소자;

배터리;

상기 하베스팅 소자 및 상기 배터리와 부하 사이에 연결된 인덕터 및 상기 인덕터에 연결된 복수의 스위치를 포함하고, 상기 복수의 스위치의 스위칭 동작에 기초하여 상기 하베스팅 소자, 상기 배터리, 상기 인덕터 및 상기 부하 중 적어도 두 개를 포함하는 복수의 경로로 전력을 전달하도록 구성되는 전력 변환부; 및

상기 하베스팅 소자의 최대 전력점을 선형 보간 동작에 기초하여 추적하도록 구성되는 MPPT 회로를 포함하는 전자 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 경로는 상기 하베스팅 소자의 출력 전압이 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점 전압 보다 크고, 상기 부하의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압 보다 작을 때 형성되는 듀얼 경로를 포함하는 전자 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 듀얼 경로는 상기 하베스팅 소자 및 상기 배터리 각각으로부터 상기 부하로 전력이 전달되는 경로인 전자 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 선형 보간 동작은 상기 하베스팅 소자의 출력 전류 및 출력 전압으로 정의되는 IV 그래프에서 정의되는 제1 점 및 제2 점을 추출하고, 상기 제1 점 및 상기 제2 점에 기초하여 상기 IV 그래프의 기울기를 추출하고, 상기 기울기에 기초하여 상기 IV 그래프의 X축 절편으로 정의되는 상기 하베스팅 소자의 등가 전압을 획득하고, 상기 등가 전압의 절반의 값을 상기 최대 전력점으로써 획득하는 것을 포함하는 전자 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 MPPT 회로는 상기 하베스팅 소자의 출력단에 연결되어 추출 전류를 인가하는 추출 전류 인가부를 포함하고,

상기 하베스팅 소자가 에너지를 수확하고 상기 하베스팅 소자에 연결된 저장 커패시터에 저장하는 하베스팅 단계 동안 상기 하베스팅 소자의 출력 전압의 최대 값인 $V_{IN,2}$ 및 최소 값인 $V_{IN,1}$에 기초하여 상기 제1 점을 획득하고,

상기 하베스팅 단계 이후 MPPT를 수행하는 MPPT 단계 동안 상기 추출 전류를 인가하고, 상기 하베스팅 소자의

출력 전압의 최대 값인 $V_{IN,3}$ 및 최소 값인 $V_{IN,1}$에 기초하여 상기 제2 점을 획득하는 전자 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

$$\frac{(V_{IN,2}-V_{IN,1})}{T_{EX}}:\frac{V_{TEG}-(V_{IN,2}+V_{IN,1})/2}{T_{EX}} = 1:\frac{C_{IN}}{T_{OFF}}\times\frac{V_{IN,3}-V_{IN,2}}{I_{EX}}$$

상기 MPPT 회로는 에 기초하여 상기 등가 전압을 획득하고,

상기 T_{EX}는 시간 상수, V_{TEG}는 상기 등가 전압, 상기 C_{IN}는 상기 저장 커패시터의 커패시턴스, 상기 T_{OFF}는 상기 하베스팅 단계 및 상기 MPPT 단계 각각의 시간 구간, 상기 I_{EX}는 상기 추출 전류인 전자 장치.

청구항 7

등가 전압 및 등가 저항으로 정의되는 하베스팅 소자;

상기 등가 저항에 연결된 저장 커패시터;

배터리;

제1 노드와 제2 노드 사이에 연결된 인덕터 및 상기 인덕터에 연결된 복수의 스위치를 포함하고, 상기 하베스팅 소자, 상기 배터리, 상기 인덕터 및 상기 부하 중 적어도 두 개를 포함하는 복수의 경로로 전력을 전달하도록 구성되는 전력 변환부;

상기 복수의 스위치를 제어하는 드라이버(260); 및

상기 하베스팅 소자의 최대 전력점을 선형 보간 동작에 기초하여 추적하도록 구성되는 MPPT 회로를 포함하고,

상기 복수의 스위치는 상기 제1 노드와 상기 저장 커패시터 및 상기 하베스팅 소자가 연결된 제3 노드 사이에 연결된 듀얼 경로 스위치를 포함하는 전자 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 복수의 스위치는:

상기 제1 노드와 상기 배터리 사이에 연결된 제1 스위치;

상기 제2 노드와 상기 제3 노드 사이에 연결된 제2 스위치;

상기 제1 노드와 접지 사이에 연결된 제3 스위치;

상기 제1 노드와 상기 부하 사이에 연결된 제4 스위치; 및

상기 제2 노드와 상기 부하 사이에 연결된 제5 스위치를 더 포함하는 전자 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 복수의 경로는 상기 하베스팅 소자의 출력 전압이 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점 전압 보다 크고, 상기 부하의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압 보다 작을 때 형성되는 듀얼 경로를 포함하고,

상기 드라이버(260)는 상기 듀얼 경로 스위치, 상기 제1 스위치, 상기 제3 스위치 및 상기 제5 스위치가 온되도록 제어하여 상기 듀얼 경로를 형성하는 전자 장치.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 선형 보간 동작은 상기 하베스팅 소자의 출력 전류 및 출력 전압으로 정의되는 IV 그래프에서 정의되는 제1 점 및 제2 점을 추출하고, 상기 제1 점 및 상기 제2 점에 기초하여 상기 IV 그래프의 기울기를 추출하고, 상기 기울기에 기초하여 상기 IV 그래프의 X축 절편으로 정의되는 상기 하베스팅 소자의 등가 전압을 획득하고, 상기 등가 전압의 절반의 값을 상기 최대 전력점으로써 획득하는 것을 포함하는 전자 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 선형 보간 동작 기반의 최대 출력점 추적 기술을 이용한 하베스팅 소자용 전자 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 에너지 하베스팅 기술은 무선 센서 노드에서 배터리 수명을 연장하는 매력적인 솔루션이라 볼 수 있다. 그러나 에너지 하베스팅 자원은 본질적으로 산발적이며 환경 변화에 큰 영향을 받으므로 안정적인 동작을 보장하기 위해 배터리 또는 슈퍼 커패시터 같은 에너지 저장 요소가 필요하다. 에너지 저장 요소를 사용하는 최근 연구는 주로 에너지원에서 효율적으로 전력을 수확하는 것에 중점을 둔다. 많은 무선 센서 노드의 경우 센싱 모드 동안 필요한 전력량은 적지만 무선 데이터 전송 모드 동안 수확 전력보다 더 큰 전력량을 필요로 한다.

[0003] 따라서, 무선 센서 노드는 출력 커패시터가 제한된 기본적인 부스트(boost) 컨버터 구조를 쓰는 경우가 많지만 제대로 동작할 수 없으며 경부하(light-load) 환경에서도 에너지를 낭비하게 된다. 2단 직렬 부스트 및 벅(buck) 컨버터 구조의 경우 부스트 컨버터는 저장 커패시터에 지속적으로 전력을 수확하고 부하는 저장 커패시터에 저장된 전력을 다시 공급받는다. 하지만 부스트 및 벅 컨버터의 직렬 연결로 인한 이중 전력 변환 동작으로 인해 전반적으로 효율이 낮다.

[0004] 위 문제를 해결하기 위해 불연속 에너지 수확 모드를 도입한 기술들이 있지만, 저장 커패시터에서 출력으로 직접 전력을 전달하는 과정에서 출력 전압이 제대로 정제되지 않는 단점이 있다. 또한, 시스템이 저장 커패시터의 전력을 사용하는 동안 에너지원으로부터의 전력 수확을 중단하기 때문에 여전히 비효율적이라는 문제가 있다. 또한, 기존의 기술의 경우 매 한 주기 동작에 단 하나의 에너지원으로부터만 전력을 수확할 수 있어서 전력 밀도가 낮다는 단점이 있다.

[0005] 한편, 수확한 에너지를 최대 전력으로 전달하기 위한 최대 전력점 추적 기술의 경우 최대 출력점이 개방 회로 전압의 절반에 해당된다는 점을 바탕으로 회로부가 직접 개방 회로 전압을 감지하는 FOCV(Fractional Open-Circuit Voltage) 방식이 널리 사용된다. 이는 하베스팅 소자와 전력 변환부 사이의 연결을 끊고 직접 개방 회로 전압을 감지하고 이의 절반에 해당되는 전압값을 생성하여 기준 전압으로 설정하는 방식이어서 전력 변환부와의 연결이 끊겨 있는 시간이 길수록 그만큼의 에너지 손실이 발생하는 것이므로 전체 회로의 전력 변환 밀도가 감소한다는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2013-0108818호

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-2099939호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상술한 과제를 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은 하베스팅 소자와 컨버터가 연결된 상태에서도 최대 출력점을 추적 가능한 선형 보간 동작 기반의 최대 출력점 추적 기술을 이용한 하베스팅 소자용 전자 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예로, 하베스팅 소자; 배터리; 상기 하베스팅 소자 및 상기 배터리와 부하 사이에 연결된 인덕터 및 상기 인덕터에 연결된 복수의 스위치를 포함하고, 상기 복수의 스위치의 스위칭 동작에 기초하여 상기 하베스팅 소자, 상기 배터리, 상기 인덕터 및 상기 부하 중 적어도 두 개를 포함하는 복수의 경로로 전력을 전달하도록 구성되는 전력 변환부; 및 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점을 선형 보간 동작에 기초하여 추적하도록 구성되는 MPPT 회로를 포함하는 전자 장치이다.

[0009] 예를 들어, 상기 복수의 경로는 상기 하베스팅 소자의 출력 전압이 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점 전압 보다 크고, 상기 부하의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압 보다 작을 때 형성되는 듀얼 경로를 포함할 수 있다.

[0010] 예를 들어, 상기 듀얼 경로는 상기 하베스팅 소자 및 상기 배터리 각각으로부터 상기 부하로 전력이 전달되는 경로일 수 있다.

[0011] 예를 들어, 상기 선형 보간 동작은 상기 하베스팅 소자의 출력 전류 및 출력 전압으로 정의되는 IV 그래프에서 정의되는 제1 점 및 제2 점을 추출하고, 상기 제1 점 및 상기 제2 점에 기초하여 상기 IV 그래프의 기울기를 추출하고, 상기 기울기에 기초하여 상기 IV 그래프의 X축 절편으로 정의되는 상기 하베스팅 소자의 등가 전압을 획득하고, 상기 등가 전압의 절반의 값을 상기 최대 전력점으로써 획득하는 것을 포함할 수 있다.

[0012] 예를 들어, 상기 MPPT 회로는 상기 하베스팅 소자의 출력단에 연결되어 추출 전류를 인가하는 추출 전류 인가부를 포함하고, 상기 하베스팅 소자가 에너지를 수확하고 상기 하베스팅 소자에 연결된 저장 커패시터에 저장하는 하베스팅 단계 동안 상기 하베스팅 소자의 출력 전압의 최대 값인 $V_{IN,2}$ 및 최소 값인 $V_{IN,1}$에 기초하여 상기 제1 점을 획득하고, 상기 하베스팅 단계 이후 MPPT를 수행하는 MPPT 단계 동안 상기 추출 전류를 인가하고, 상기 하베스팅 소자의 출력 전압의 최대 값인 $V_{IN,3}$ 및 최소 값인 $V_{IN,1}$에 기초하여 상기 제2 점을 획득할 수 있다.

$$\frac{(V_{IN,2}-V_{IN,1})}{T_{EX}}:\frac{V_{TEG}-(V_{IN,2}+V_{IN,1})/2}{T_{EX}} = 1:\frac{C_{IN}}{T_{OFF}}\times\frac{V_{IN,3}-V_{IN,2}}{I_{EX}}$$

[0013] 예를 들어, 상기 MPPT 회로는 에 기초하여 상기 등가 전압을 획득하고, 상기 T_{EX}는 시간 상수, V_{TEG}는 상기 등가 전압, 상기 C_{IN}는 상기 저장 커패시터의 커패시턴스, 상기 T_{OFF}는 상기 하베스팅 단계 및 상기 MPPT 단계 각각의 시간 구간, 상기 I_{EX}는 상기 추출 전류일 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 일 실시예로, 등가 전압 및 등가 저항으로 정의되는 하베스팅 소자; 상기 등가 저항에 연결된 저장 커패시터; 배터리; 제1 노드와 제2 노드 사이에 연결된 인덕터 및 상기 인덕터에 연결된 복수의 스위치를 포함하고, 상기 하베스팅 소자, 상기 배터리, 상기 인덕터 및 상기 부하 중 적어도 두 개를 포함하는 복수의 경로로 전력을 전달하도록 구성되는 전력 변환부; 상기 복수의 스위치를 제어하는 드라이버(260); 및 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점을 선형 보간 동작에 기초하여 추적하도록 구성되는 MPPT 회로를 포함하고, 상기 복수의 스위치는 상기 제1 노드와 상기 저장 커패시터 및 상기 하베스팅 소자가 연결된 제3 노드 사이에 연결된 듀얼 경로 스위치를 포함하는 전자 장치이다.

[0015] 예를 들어, 상기 복수의 스위치는: 상기 제1 노드와 상기 배터리 사이에 연결된 제1 스위치; 상기 제2 노드와 상기 제3 노드 사이에 연결된 제2 스위치; 상기 제1 노드와 접지 사이에 연결된 제3 스위치; 상기 제1 노드와 상기 부하 사이에 연결된 제4 스위치; 및 상기 제2 노드와 상기 부하 사이에 연결된 제5 스위치를 더 포함할 수 있다.

[0016] 예를 들어, 상기 복수의 경로는 상기 하베스팅 소자의 출력 전압이 상기 하베스팅 소자의 최대 전력점 전압 보

다 크고, 상기 부하의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압 보다 작을 때 형성되는 듀얼 경로를 포함하고, 상기 드라이버(260)는 상기 듀얼 경로 스위치, 상기 제1 스위치, 상기 제3 스위치 및 상기 제5 스위치가 온되도록 제어하여 상기 듀얼 경로를 형성할 수 있다.

[0017] 예를 들어, 상기 선형 보간 동작은 상기 하베스팅 소자의 출력 전류 및 출력 전압으로 정의되는 IV 그래프에서 정의되는 제1 점 및 제2 점을 추출하고, 상기 제1 점 및 상기 제2 점에 기초하여 상기 IV 그래프의 기울기를 추출하고, 상기 기울기에 기초하여 상기 IV 그래프의 X축 절편으로 정의되는 상기 하베스팅 소자의 등가 전압을 획득하고, 상기 등가 전압의 절반의 값을 상기 최대 전력점으로써 획득하는 것을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 의하면, 하베스팅 소자와 컨버터가 연결된 상태에서도 최대 출력점을 추적 가능한 선형 보간 동작 기반의 최대 출력점 추적 기술을 이용한 하베스팅 소자용 전자 장치가 제공될 수 있다.

[0019] 또한, 듀얼 경로 스위치를 추가로 구비하여 한 주기에도 두 가지 에너지원으로부터 효율적으로 전력을 수확할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 변환부를 포함한 전자 장치의 상세 회로도이다.

도 3a 내지 도 3d는 제1 모드 내지 제4 모드에 따른 전력 변환부의 동작을 설명하기 위한 것이다.

도 4는 IV 그래프 상에서 MPPT 회로의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 하베스팅 단계 및 MPPT 단계에서 MPPT 회로의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 하베스팅 소자의 등가 전압의 획득 과정을 설명하기 위한 것이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 MPPT 회로를 나타낸 도면이고, 도 8은 MPPT 회로의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 전자 장치를 도면이고, 도 10은 도 9에 포함된 제어부의 상세도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치의 전력 변환 방법의 순서도이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치의 최대 전력점 추적 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하에서, 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있을 정도로, 본 발명의 실시 예들이 명확하고 상세하게 기재될 것이다.

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치를 나타낸 도면이다.

[0023] 도 1을 참조하면, 전자 장치(100a)는 하베스팅 소자(120), 배터리(140), 전력 변환부(160) 및 MPPT 회로(180)를 포함한다.

[0024] 하베스팅 소자(120)는 주변 에너지를 수확(harvesting)하여 전기 에너지로 변환하도록 구성된 에너지 소자를 의미한다. 예를 들어, 하베스팅 소자(120)는 열전 소자(ThermoElectric Generator, TEG)일 수 있다. 하베스팅 소자(120)는 수확한 전기 에너지를 전력 변환부(160)를 통해 부하(Load)로 전달할 수 있다.

[0025] 배터리(140)는 전기 에너지를 저장하며, 저장한 전기 에너지를 다양한 경로에 따라 부하(Load)로 전달할 수 있다. 예를 들어, 하베스팅 소자(120)만으로 부하(Load)의 전력 충당이 어려울 경우 배터리(140)에 저장된 전력이 부하(Load)로 전달될 수 있다. 또는, 부하(Load)의 전력이 충분할 경우 하베스팅 소자(120)의 전력이 배터리(140)에 저장될 수도 있다.

[0026] 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120) 및 배터리(140) 중 적어도 하나로부터 저장된 에너지를 부하(Load)에 전달하도록 구성된다. 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120) 및 배터리(140)와 부하(Load) 사이에 연결된 인덕터(L) 및 인덕터(L)에 연결된 복수의 스위치를 포함한다. 전력 변환부(160)는 복수의 스위치의 스위칭 동작에

기초하여 하베스팅 소자(120), 배터리(140), 인덕터(L) 및 부하(Load) 중 적어도 두 개를 포함하는 복수의 경로로 전력을 전달하도록 구성된다.

[0027] 전력 변환부(160)는 제1 모드 내지 제4 모드에 따라 동작하며, 제1 모드 내지 제4 모드에서 각각 상기 복수의 경로 중 어느 하나가 형성될 수 있다.

[0028] 제1 모드는 간접 모드(indirect mode)로 칭해질 수 있다. 제1 모드에서 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120)에 저장된 전력을 배터리(140)로 전달하고, 배터리(140)는 전달받은 전력을 저장한다. 제1 모드에서 하베스팅 소자(120)에 저장된 전력이 배터리(140)로 전달되도록 형성되는 경로는 간접 경로로 칭해질 수 있다. 간접 경로에서는 전력 변환부(160) 및 배터리(140)가 부하(Load)와 연결되지 않는다.

[0029] 일 실시예에 따르면, 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 크고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 클 때 제1 모드에서 동작할 수 있다. 즉, 제1 모드는 부하(Load)의 전압이 충분하여 하베스팅 소자(120)가 수확하는 에너지를 부하(Load)로 전달할 필요 없고, 여분의 에너지를 배터리(140)에 미리 저장하기 위한 모드로 이해될 수 있다.

[0030] 제1 모드에서 전력 변환부(160)는 부스트 컨버터(boost converter)로 동작한다.

[0031] 제2 모드는 직접 모드(direct mode)로 칭해질 수 있다. 제2 모드에서 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달한다. 이때, 전력 변환부(160)는 1차적으로 하베스팅 소자(120)에 저장된 전력을 인덕터(L)에 저장하고, 이후 인덕터(L)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달한다. 제2 모드에서 하베스팅 소자(120)에 저장된 전력이 부하(Load)로 전달되도록 형성되는 경로는 직접 경로로 칭해질 수 있다. 직접 경로에서는 배터리(140)가 전력 변환부(160)와 연결되지 않는다.

[0032] 일 실시예에 따르면, 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(VIN)이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 크고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 크고 기 설정된 하이 기준 전압($V_{REF,H}$) 보다 작을 때 제2 모드에서 동작할 수 있다. 즉, 제2 모드는 부하(Load)의 전력이 충분하지 않아 전력 충당이 필요하되, 하베스팅 소자(120)의 전력이 부하(Load)의 전력 보다 커서 하베스팅 소자(120)의 에너지만으로 충분히 전력 조달이 가능한 경우에 동작하는 모드로 이해될 수 있다.

[0033] 제2 모드에서 전력 변환부(160)는 부스트 컨버터로 동작한다.

[0034] 제3 모드는 듀얼-변환 모드(dual-conversion mode)로 칭해질 수 있다. 제3 모드에서 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120) 및 배터리(140)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달한다. 예를 들어, 전력 변환부(160)는 1차적으로 배터리(140)에 저장된 전력을 인덕터(L) 및 부하(Load)에 전달하고, 이후 하베스팅 소자(120)에 저장된 전력을 인덕터(L) 및 부하(Load)에 전달할 수 있다. 제3 모드에서 하베스팅 소자(120) 및 배터리(140)에 저장된 전력이 부하(Load)로 전달되도록 형성되는 경로는 듀얼 경로로 칭해질 수 있다. 즉, 듀얼 경로는 하베스팅 소자(120) 및 배터리(140) 각각으로부터 부하(Load)로 전력이 전달되는 경로이다.

[0035] 일 실시예에 따르면, 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(VIN)이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 크고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 작을 때 제3 모드에서 동작할 수 있다. 즉, 제3 모드는 부하(Load)의 전력이 충분하지 않아 전력 충당이 필요하되, 하베스팅 소자(120)의 전력이 부하(Load)의 전력 보다 작아서 하베스팅 소자(120)의 에너지로도 전력 조달이 어려운 경우에 동작하는 모드로 이해될 수 있다.

[0036] 제3 모드에서 전력 변환부(160)는 벅-부스트 컨버터(buck-boost converter)로 동작한다.

[0037] 제4 모드는 재활용 모드(recycling mode)로 칭해질 수 있다. 제4 모드에서 전력 변환부(160)는 배터리(140)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달한다. 예를 들어, 전력 변환부(160)는 배터리(140)에 저장된 전력을 인덕터(L) 및 부하(Load)에 전달할 수 있다. 제4 모드에서 배터리(140)에 저장된 전력이 부하(Load)로 전달되도록 형성되는 경로는 재활용 경로로 칭해질 수 있다. 재활용 경로에서는 하베스팅 소자(120)가 전력 변환부(160)와 연결되지 않는다.

[0038] 일 실시예에 따르면, 전력 변환부(160)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(VIN)이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압 보다 작고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 작을 때 제4 모드에서 동작할 수 있다. 즉, 제4 모드는 부하(Load)의 전력이 충분하지 않아 전력 충당이 필요하되, 하베스팅 소자(120)의

출력 전압(VIN)이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 작아 부하(Load)에 필요한 모든 전력을 배터리(140)로부터 충당해야 하는 경우에 동작하는 모드로 이해될 수 있다.

[0039] 제4 모드에서 전력 변환부(160)는 벅 컨버터로 동작한다.

[0040] MPPT 회로(180)는 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점을 추적하는 MPPT 동작을 수행하도록 구성된다. 일 실시예에 따르면, 본 발명의 MPPT 회로(180)는 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점을 선형 보간 동작에 기초하여 추적하도록 구성된다. 선형 보간 동작은 하베스팅 소자(120)의 출력 전류 및 출력 전압(VIN)으로 정의되는 IV 그래프에서 정의되는 제1 점 및 제2 점을 추출하고, 제1 점 및 상기 제2 점에 기초하여 IV 그래프의 기울기를 추출하고, 기울기에 기초하여 IV 그래프의 X축 절편으로 정의되는 하베스팅 소자(120)의 등가 전압(V_{TEG})을 획득하고, 등가 전압(V_{TEG})의 절반의 값을 최대 전력점으로써 획득하는 것을 포함할 수 있다. 선형 보간 동작에 대한 상세한 설명은 후술한다.

[0041] 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치(100a)는 전력 변환부(160)가 한 주기마다 단 하나의 에너지원으로부터 에너지를 조달하는 것이 아니라 부하(Load)의 상황에 따라 한 주기에 두 가지 에너지원으로부터 에너지를 조달하는 것이 가능하다. 또한, 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점을 순시 선형 보간 동작에 기초하여 추적함으로써 하베스팅 소자(120)와 전력 변환부(160)가 항상 연결되어 있는 상태에서도 추적이 가능하다.

[0042] 이하에서는, 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치(100a)에 포함된 구성들과, 전자 장치(100a)의 구체적 동작에 대하여 구체적으로 설명한다.

[0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 변환부(160)를 포함한 전자 장치(100a)의 상세 회로도이다.

[0044] 도 2를 참조하면, 하베스팅 소자(120)는 등가 전압(V_{TEG})원 및 등가 저항(R_{TEG})으로 정의되고, 배터리(140)는 등가 저항(R_{BAT}) 및 등가 커패시터(C_{BAT})로 정의된다. 하베스팅 소자(120)의 출력단, 즉 전력 변환부(160)의 입력단에 대응되는 입력 노드에는 하베스팅 소자(120)의 에너지를 저장하기 위한 저장 커패시터(C_{IN})가 연결된다. 여기서, 입력 노드는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압이자 전력 변환부(160)의 입력 전압인 V_{IN}을 갖는다.

[0045] 전력 변환부(160)는 인덕터(L) 및 복수의 스위치를 포함하고, 인덕터(L)는 제1 노드(V_{L1})와 제2 노드(V_{L2}) 사이에 연결되며, 복수의 스위치는 인덕터(L)에 연결된다. 전력 변환부(160)에는 부하(Load)가 연결되며, 예를 들어 부하(Load)는 출력 커패시터(C_{OUT})와 부하 전류원(I_{LOAD})으로 정의될 수 있다.

[0046] 복수의 스위치는 제1 스위치 내지 제6 스위치(TR1 내지 TR6)를 포함한다.

[0047] 제1 스위치(TR1)는 제1 노드(V_{L1})와 배터리(140) 사이에 연결된다. 제1 스위치(TR1)는 배터리(140)의 전력을 부하(Load)로 전달하는 모드인 제1 모드, 제3 모드 및 제4 모드에서 온된다.

[0048] 제2 스위치(TR2)는 제1 노드(V_{L1})와 저장 커패시터(C_{IN}) 및 하베스팅 소자(120)가 연결된 입력 노드 사이에 연결된다. 제2 스위치(TR2)는 본 발명에서 듀얼 경로 스위치로 칭해질 수도 있다. 제2 스위치(TR2)는 듀얼 경로를 형성하기 위한 제3 모드에서만 온된다.

[0049] 제3 스위치(TR3)는 제2 노드(V_{L2})와 입력 노드 사이에 연결된다. 제3 스위치(TR3)는 하베스팅 소자(120)의 전력을 부하(Load)로 전달하는 모드인 제2 모드에서만 온된다.

[0050] 제4 스위치(TR4)는 제1 노드(V_{L1})와 접지 사이에 연결된다. 제4 스위치(TR4)는 인덕터(L)에 전력을 전달하거나, 인덕터(L)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달하기 위하여 모든 모드에서 온된다.

[0051] 제5 스위치(TR5)는 제1 노드(V_{L1})와 부하(Load) 사이에 연결된다. 제5 스위치(TR5)는 하베스팅 소자(120)의 전력을 부하(Load)로 전달하기 위한 제2 모드에서만 온 된다.

[0052] 제6 스위치(TR6)는 제2 노드(V_{L2})와 부하(Load) 사이에 연결된다. 제6 스위치(TR6)는 배터리(140)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달하기 위한 제1 모드 및 제4 모드에서 온된다.

[0053] 복수의 스위치는 게이트에 제어 신호(S1 내지 S6)가 인가되고, 제어 신호(S1 내지 S6)에 따라 제1 모드 내지 제4 모드에서 각각 온/오프된다. 제어 신호(S1 내지 S6)는 제1 모드 내지 제4 모드에 따라 온/오프될 스위치에 인

가된다. 제1 모드 내지 제4 모드 중 어느 모드로 동작할지 여부는 상술한 바와 같이 입력 노드의 전압인 V_{IN}과 부하(Load)의 전압인 V_{OUT}에 기초하여 결정될 수 있다.

[0054] 도 3a 내지 도 3d는 제1 모드 내지 제4 모드에 따른 전력 변환부의 동작을 설명하기 위한 것이다.

[0055] 도 3a를 참조하면, 전력 변환부(160)는 제1 모드에서 제1 스위치(TR1), 제3 스위치(TR3) 및 제4 스위치(TR4)를 온시켜 간접 경로를 형성한다. 구체적으로, 전력 변환부(160)는 제1-1 페이즈(Φ1-1)에서 제3 스위치(TR3) 및 제4 스위치(TR4)를 온시켜 하베스팅 소자(120)의 전력을 인덕터(L)에 저장한다. 이후 전력 변환부(160)는 제1-2 페이즈(Φ1-2)에서 제1 스위치(TR1) 및 제3 스위치(TR3)를 온시켜 인덕터(L)에 저장된 전력을 배터리(140)로 전달한다.

[0056] 도 3b를 참조하면, 전력 변환부(160)는 제2 모드에서 제3 스위치(TR3), 제4 스위치(TR4) 및 제5 스위치(TR5)를 온시켜 직접 경로를 형성한다. 구체적으로, 전력 변환부(160)는 제2-1 페이즈(Φ2-1)에서 제3 스위치(TR3) 및 제4 스위치(TR4)를 온시켜 하베스팅 소자(120)의 전력을 인덕터(L)에 저장한다. 이후 전력 변환부(160)는 제2-2 페이즈(Φ2-2)에서 제3 스위치(TR3) 및 제5 스위치(TR5)를 온시켜 인덕터(L)에 저장된 전력을 부하(Load)로 전달한다.

[0057] 도 3c를 참조하면, 전력 변환부(160)는 제3 모드에서 제1 스위치(TR1), 제2 스위치(TR2), 제4 스위치(TR4) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 듀얼 경로를 형성한다. 구체적으로, 전력 변환부(160)는 제3-1 페이즈(Φ3-1)에서 제1 스위치(TR1) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 배터리(140)의 전력을 부하(Load)로 전달한다. 이후 전력 변환부(160)는 제3-2 페이즈(Φ3-2)에서 제2 스위치(TR2) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 하베스팅 소자(120)의 전력을 부하(Load)로 전달한다. 이후 전력 변환부(160)는 제3-3 페이즈(Φ3-3)에서 제4 스위치(TR4) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 인덕터(L)에 저장된 나머지 전력을 부하(Load)로 전달한다.

[0058] 도 3d를 참조하면, 전력 변환부(160)는 제4 모드에서 제1 스위치(TR1), 제4 스위치(TR4) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 재활용 경로를 형성한다. 구체적으로, 전력 변환부(160)는 제4-1 페이즈(Φ4-1)에서 제1 스위치(TR1) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 배터리(140)의 전력을 부하(Load)로 전달한다. 이후 전력 변환부(160)는 제4-2 페이즈(Φ4-2)에서 제4 스위치(TR4) 및 제6 스위치(TR6)를 온시켜 인덕터(L)에 저장된 에너지를 부하(Load)로 전달한다.

[0059] 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치(100a)는 전력 변환부(160)가 DC-DC 컨버터(벅, 부스트 및 벅-부스트 컨버터) 동작을 위한 스위치들(제1 스위치(TR1) 및 제3 스위치(TR3) 내지 제6 스위치(TR6))에 더하여 듀얼 경로 스위치인 제2 스위치(TR2)를 추가로 구비함으로써 한 주기마다 단 하나의 에너지원으로부터 에너지를 조달하는 것이 아니라 부하(Load)의 상황에 따라 한 주기에 두 가지 에너지원으로부터 에너지를 조달하는 것이 가능하다.

[0060] 이하에서는, 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 추적을 위한 MPPT 회로(180)의 구체적 동작에 대하여 설명한다.

[0061] 하베스팅 소자(120)는 등가 전압(V_{TEG})원 및 등가 저항(R_{TEG})으로 정의될 수 있음은 도 2에서 상술한 바와 같다. 하베스팅 소자(120)의 등가 전압(V_{TEG})원의 등가 전압(V_{TEG})과 및 등가 저항(R_{TEG})은 하베스팅 소자(120)의 출력 전류 및 출력 전압(VIN)으로 정의되는 IV 그래프에서 정의될 수 있다.

[0062] 도 4는 IV 그래프 상에서 MPPT 회로의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0063] 도 4를 참조하면, MPPT 회로(180)는 상술한 바와 같이 선형 보간 동작에 기초하여 등가 전압(V_{TEG})을 획득하고, 등가 전압(V_{TEG})의 절반의 값을 최대 전력점으로써 획득한다. 구체적으로, MPPT 회로(180)는 우선 IV 그래프에서 정의되는 제1 점을 추출한다(Sample V_1 & I_1). 이후 MPPT 회로(180)는 IV 그래프에서 정의되는 제2 점을 추출한다(Sample V_2 & I_2). 제1 점은 V_1 및 I_1으로 정의되고, 제2 점은 V_2 및 I_2으로 정의된다. MPPT 회로(180)는 추출한 두 점에 기초하여 IV 그래프의 기울기, 즉 $1/R_{TEG}$를 추출한다(Estimate $1/R_{TEG}$). 이후, MPPT 회로(180)는 기울기에 기초하여 IV 그래프의 X축 절편으로 정의되는 하베스팅 소자(120)의 등가 전압(V_{TEG})을 획득한다(Extrapolate V_{TEG}). 마지막으로, MPPT 회로(180)는 등가 전압(V_{TEG})의 절반의 값을 최대 전력점(V_{MPP})으로써 획득한다(Calculate $V_{TEG}/2$).

[0064] 따라서, MPPT 회로(180)는 IV 그래프에서 최대 전력점에 해당하는 전력을 전달할 수 있도록 하베스팅 소자(12

0)의 전력을 제어할 수 있다.

[0065] 상술한 바와 같이 최대 전력점 획득을 위하여 선형 보간 동작에 따라 등가 전압(V_{TEG})의 획득이 필수적이다. 등가 전압(V_{TEG})은 IV 그래프의 기울기로부터 획득되므로, IV 그래프의 임의의 두 점인 제1 점과 제2 점을 추출하는 것이 필요한데, 본 발명의 일 실시예에 따르면 제1 점 및 제2 점은 하베스팅 단계 및 MPPT 단계에서 획득될 수 있다.

[0066] 제2 점은 결국 IV 그래프 상에 존재하는 것으로 정의되므로, 제2 점을 X축 절편이라 하면 $V_2 = V_{TEG}$, $I_2 = 0$으로 볼 수 있다. 따라서, IV 그래프의 기울기는 수학식 1과 같이 정의될 수 있다.

수학식 1

[0067]
$$\text{Slope} = \left|\frac{I_2 - I_1}{V_2 - V_1}\right| = \frac{I_1}{V_{TEG} - V_1} = \frac{1}{R_{TEG}}$$

[0068] 수학식 1을 참조하면, 결국 제1 점을 구할 경우 V_{TEG}를 획득할 수 있다.

[0069] 도 5는 하베스팅 단계 및 MPPT 단계에서 MPPT 회로의 동작을 설명하기 위한 도면이다. 도 5에서는 설명의 편의를 위해 상술한 전자 장치(100a)에서 하베스팅 소자(120), MPPT 회로(180) 및 저장 커패시터(C_{IN})만을 도시하였다.

[0070] 도 5를 참조하면, MPPT 회로(180)는 하베스팅 단계 및 MPPT 단계에서 동작할 수 있다. 하베스팅 단계는 하베스팅 소자(120)가 에너지를 수확하고 하베스팅 소자(120)에 연결된 저장 커패시터(CIN)에 저장하는 단계로 정의될 수 있다. MPPT 단계는 하베스팅 단계 이후에 최대 전력점 추적 동작인 MPPT를 위한 단계로 정의될 수 있다. 하베스팅 단계(Harvesting)와 MPPT 단계(MPPT) 사이에는 하베스팅 단계 동안 수확된 에너지를 전력 변환부(160)가 부하(Load)에 전달하는 추출 단계(Extracting)가 포함될 수 있다.

[0071] 하베스팅 단계에서는, 하베스팅 소자(120)가 에너지를 수확하고 저장 커패시터(CIN)에 저장하는 단계이므로 MPPT 회로(180)와의 연결이 단절된다. 에너지가 저장됨에 따라 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(VIN)은 최소값인 $V_{IN,1}$에서 최대값인 $V_{IN,2}$까지 증가된다. 하베스팅 단계는 T_{OFF} 동안 수행된다.

[0072] 이후, 추출 단계를 통해 저장된 에너지가 부하(Load)로 전달되고나서 최대 전력점을 추적하는 MPPT 단계가 수행된다. MPPT 단계에서는 MPPT를 위한 추출 전류(I_{EX})가 MPPT 회로(180)(보다 정확하게는 후술할 추출 전류 인가부)를 통해 인가되며, 이에 따라 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})이 최소값인 $V_{IN,1}$에서 최대값인 $V_{IN,3}$까지 증가된다. 또한, 출력 전류는 하베스팅 단계보다 감소된다. 추출 전류(I_{EX}) 인가로 인하여 커패시터 전류(I_{CIN})는 추출 전류(I_{EX})만큼 증가된다. MPPT 단계는 T_{OFF} 동안 수행된다.

[0073] MPPT 회로(180)는 상술한 하베스팅 단계의 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})과, MPPT 단계의 출력 전압(V_{IN})에 기초하여 V_{TEG}를 획득한다.

[0074] MPPT 회로(180)는 하베스팅 소자(120)가 에너지를 수확하고 하베스팅 소자(120)에 연결된 저장 커패시터(C_{IN})에 저장하는 하베스팅 단계 동안 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})의 최대 값인 $V_{IN,2}$ 및 최소 값인 $V_{IN,1}$에 기초하여 제1 점을 획득할 수 있다.

[0075] 우선, MPPT 회로(180)는 하베스팅 단계에서 제1 점의 전압인 V_1을 수학식 2에 기초하여 추출한다.

수학식 2

$$V_1 = \frac{1}{2}(V_{IN,2} + V_{IN,1})$$

[0076]

[0077] 하베스팅 단계에서의 출력 전압(VIN) $V_{IN(t)}$는 수학식 3로 정의될 수 있다.

수학식 3

$$V_{IN}(t) = V_{TEG} + (V_{IN,1} - V_{TEG}) \times exp\left(\frac{-(t-t_1)}{R_{TEG}C_{IN}}\right)$$

[0078]

[0079] 여기서 t_1은 t= < t < t_1 + T_{OFF}로 정의되고, 나머지 변수들은 상술한 바와 같다. 따라서, $V_{IN,2}$ 및 $V_{IN,1}$은 수학식 3로부터 획득 가능하며, 획득한 변수들을 수학식 2에 삽입하여 제1 점의 전압을 획득할 수 있다.

[0080] 하베스팅 단계의 출력 전류 I_{IN}은 수학식 4으로 정의될 수 있고, 수학식 4에 기초하여 제1 점의 전류인 I_1가 수학식 5로 정의될 수 있다.

수학식 4

$$I_{IN}(t) = I_{CIN}(t) = C_{IN}\frac{dV_{IN}(t)}{dt}$$

[0081]

수학식 5

$$I_1 \cong C_{IN}\frac{V_{IN,2} - V_{IN,1}}{T_{OFF}}$$

[0082]

[0083] 따라서, MPPT 회로(180)는 제1 점의 전류인 I_1를 수학식 5에 기초하여 추출할 수 있다. 이때, 수학식 5에서 알 수 있듯이 I_1은 $V_{IN,2}$ - $V_{IN,1}$를 센싱함으로써 측정될 수 있다.

[0084] MPPT 회로(180)는 하베스팅 단계 이후 MPPT를 수행하는 MPPT 단계 동안 추출 전류(I_{EX})를 인가하고, 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})의 최대 값인 $V_{IN,3}$ 및 최소 값인 $V_{IN,1}$에 기초하여 제2 점을 획득할 수 있다.

[0085] 구체적으로, MPPT 회로(180)는 MPPT 단계에서 추출 전류(I_{EX})를 인가하며, 추출 전류(I_{EX})가 인가됨에 따라 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})은 하베스팅 단계 보다 증가된다. MPPT 단계에서의 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})은 수학식 6로 정의될 수 있다.

수학식 6

$$V_{IN}(t) = (V_{TEG} + R_{TEG}I_{EX}) + (V_{IN,1} - V_{TEG} - R_{TEG}I_{EX}) \times exp\left(\frac{-(t-t_2)}{R_{TEG}C_{IN}}\right), (t_2 < t < t_2 + T_{OFF})$$

[0086]

[0087] 따라서, $V_{IN,3}$은 수학식 6로부터 획득 가능하다.

[0088] 수학식 6에 의해 획득한 $V_{IN,3}$와 수학식 3에 의해 획득한 $V_{IN,2}$의 차이를 구하면 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$V_{IN,3} - V_{IN,2} = R_{TEG} I_{EX} \left(1 - exp\left(\frac{-T_{OFF}}{R_{TEG} C_{IN}}\right)\right)$$

[0089]

[0090] 또한, 수학식 7로부터 수학식 8과 같은 관계가 도출된다.

수학식 8

$$\frac{I_{EX}}{V_{IN,3} - V_{IN,2}} = \frac{1}{R_{TEG}\left(1 - exp\left(\frac{-T_{OFF}}{R_{TEG} C_{IN}}\right)\right)} \cong \frac{1}{R_{TEG}}$$

[0091]

[0092] 수학식 2, 수학식 5 및 수학식 8을 수학식 1에 대입하면 IV 그래프의 기울기는 수학식 9로 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$\frac{1}{R_{TEG}} = \frac{C_{IN}\left(V_{IN,2} - V_{IN,1}\right)/T_{OFF}}{V_{TEG} - \left(V_{IN,2} + V_{IN,1}\right)/2} = \frac{I_{EX}}{V_{IN,3} - V_{IN,2}}$$

[0093]

[0094] 수학식 9를 보간 시간인 T_{EX}로 나누면 수학식 10으로 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$\frac{C_{IN}\left(V_{IN,2} - V_{IN,1}\right)/T_{OFF}}{T_{EX}} \times \frac{T_{EX}}{V_{TEG} - \left(V_{IN,2} + V_{IN,1}\right)/2} = \frac{I_{EX}}{V_{IN,3} - V_{IN,2}}$$

[0095]

[0096] 보간 시간 T_{EX}는 상수이다. 수학식 10을 C_{IN}/T_{OFF}로 나누면 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\frac{\left(V_{IN,2} - V_{IN,1}\right)}{T_{EX}} \times \frac{T_{EX}}{V_{TEG} - \left(V_{IN,2} + V_{IN,1}\right)/2} = \frac{T_{OFF}}{C_{IN}} \times \frac{I_{EX}}{V_{IN,3} - V_{IN,2}}$$

[0097]

[0098] 수학식 11에 기초하여, 최종적으로 제1 점과 제2 점인 X축 절편의 비례 관계를 수학식 12로 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$\frac{(V_{IN,2}-V_{IN,1})}{T_{EX}}:\frac{V_{TEG}-(V_{IN,2}+V_{IN,1})/2}{T_{EX}} = 1:\frac{C_{IN}}{T_{OFF}}\times\frac{V_{IN,3}-V_{IN,2}}{I_{EX}}$$

[0099]

[0100] 수학식 12의 좌측은 각각 I1과 V_{TEG} - V_1에 대응된다. 따라서, 수학식 12의 우측은 IV 그래프에서 각각 Y축과 X축에 대응됨을 알 수 있다.

[0101] 도 6은 하베스팅 소자의 등가 전압의 획득 과정을 설명하기 위한 것이다.

[0102] 도 6을 참조하면, MPPT 회로(180)는 수학식 12에 기초하여 등가 전압(V_{TEG})을 획득할 수 있다. 구체적으로, 도 6의 (a)의 IV 그래프와 같이 수학식 12의 좌측과 우측은 IV 그래프의 기울기에 대응됨을 알 수 있다. 수학식 12를 IV 그래프가 아닌 시간 도메인 상에서 나타내면 도 6의 (b)와 같다.

[0103] 도 6의 (b)에 따른 MPPT 회로(180)의 동작을 설명하면, MPPT 회로(180)는 $V_{IN,2}$ - $V_{IN,1}$를 일정 기울기(I_B/C_S)로 방전될 동안 ($V_{IN,2}$ + $V_{IN,1}$)/2를 수학식 12의 우측에 대응되는 기울기로 충전한다. 여기서, I_B는 바이어스 전류이고 C_S는 샘플링 커패시터이다. $V_{IN,2}$ - $V_{IN,1}$이 0으로 방전되는 시간에, ($V_{IN,2}$ + $V_{IN,1}$)/2는 등가 전압(V_{TEG})에 도달하게 되며 MPPT 회로(180)는 등가 전압(V_{TEG})을 획득하고 절반으로 나누어 최종적으로 최대 전력점을 획득한다.

[0104] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 MPPT 회로를 나타낸 도면이고, 도 8은 MPPT 회로의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0105] 도 7을 참조하면, MPPT 회로(180)는 상술한 최대 전력점 획득 동작을 위해 샘플 앤 홀드부(181), 추출 전류 인가부(182), 비교기(183), 리셋 회로(184), MPPT 타이머(185) 및 디지털 로직(186)을 포함한다. MPPT 회로(180)는 상술한 구성들에 기초하여 도 8에 따라 동작할 수 있다.

[0106] 샘플 앤 홀드부(181)는 복수의 샘플 앤 홀드 회로를 포함한다. 복수의 샘플 앤 홀드 회로는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(VIN)을 디지털 로직(186)으로부터 전달받는 서로 다른 추출 신호에 따라 샘플 앤 홀드 동작을 수행하고 각각의 출력을 획득한다.

[0107] 제1 샘플 앤 홀드 회로(S&H1)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})에 대하여 샘플 앤 홀드 동작을 수행하여 V_{3M2}를 획득한다. 여기서, V_{3M2}는 $V_{IN,3}$ - $V_{IN,2}$로 정의될 수 있다. 제2 샘플 앤 홀드 회로(S&H2)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})에 대하여 샘플 앤 홀드 동작을 수행하여 V_{2M1}을 획득한다. 여기서, V_{2M1}는 $V_{IN,2}$ - $V_{IN,1}$로 정의될 수 있다. 제3 샘플 앤 홀드 회로(S&H3)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})에 대하여 샘플 앤 홀드 동작을 수행하여 V_{2P1}을 획득한다. 여기서, V_{2P1}는 $V_{IN,2}$ + $V_{IN,1}$로 정의될 수 있다.

[0108] 제2 샘플 앤 홀드 회로(S&H2) 및 제3 샘플 앤 홀드 회로(S&H3)는 상술한 바와 같이 출력 전압(V_{IN})이 $V_{IN,2}$까지 올라가는 하베스팅 단계에서 샘플 앤 홀드 동작을 수행할 수 있다. 제1 샘플 앤 홀드 회로(S&H1)는 출력 전압(V_{IN})이 $V_{IN,3}$까지 올라가는 MPPT 단계에서 샘플 앤 홀드 동작을 수행할 수 있다.

[0109] 추출 전류 인가부(182)는 MPP_{EX} 및 MPP_{CHR}에 기초하여 동작한다.

[0110] 추출 전류 인가부(182)는 MPPT 단계가 시작되면 추출 전류(I_{EX})를 하베스팅 소자(120)에 인가한다. 추출 전류(I_{EX})의 인가는 MPP_{CHR}이 온일 동안 수행될 수 있다.

[0111] 또한, MPPT 회로(180)는 제3 샘플 앤 홀드 회로(S&H3)와 개방 전압 노드(noc) 사이에 위치한 제7 스위치를 제1 분배 페이즈($\Phi_{DIV,1}$) 동안 온시켜 $V_{SEN,OC}$가 제3 샘플 앤 홀드 회로(S&H3)의 샘플링 전압인 V_{2P1}와의 전하 공유를

통해 초기값인 $(V_{IN,2} + V_{IN,1})/2$로 맞춘다.

[0112] 추출 전류 인가부(182)는 제1 샘플 앤 홀드 회로(S&H1)로부터 V_{3M2}가 추출되면 MPP_{EX}가 온일 동안 충전 전류를 개방 전압 노드(noc)에 인가하여 개방 전압 노드(noc)의 개방 전압인 $V_{SEN,OC}$를 충전한다. 또한, V_{2M1}은 I_{DCH}에 의해 방전된다.

[0113] 개방 전압이 V_{TEG}에 도달하게 되면, MPPT 회로(180)는 개방 전압 노드(noc)와 최대 전력점 노드(nMPP) 사이에 위치한 제8 스위치를 제2 분배 페이즈($\Phi_{DIV,2}$)동안 온시켜 V_{TEG}의 절반의 값을 V_{MPP}로써 추출한다.

[0114] 비교기(183)는 제2 샘플 앤 홀드 회로(S&H2)의 출력과 연결되어 V_{2M1}이 전압 값이 0이 되는 순간을 감지하고, 엔드 신호(END)를 디지털 로직(186)에 전달한다.

[0115] 리셋 회로(184)는 디지털 로직(186)으로부터 리셋 신호(RST1,2)를 전달받아 리셋 동작을 수행한다. 예를 들어, 리셋 회로(184)는 개방 전압 노드(noc)에 연결되어 개방 전압을 초기화하거나, 최대 전력점 노드(nMPP)에 연결되어 최대 전력점 전압인 V_{MPP}을 초기화할 수 있다.

[0116] MPPT 타이머(185)는 클록 신호(CLK)를 인가받아 MPPT 회로(180)의 동작 주기를 설정한다.

[0117] 디지털 로직(186)은 추출 전류 인가부(182)에 MPP_{EX} 및 MPP_{CHR}을 인가하거나, 리셋부에 리셋 신호(RST1,2)를 인가한다. 예를 들어, 디지털 로직(186)은 MPPT 타이머(185)에 의해 설정된 주기 동안 MPP_{EX}를 인가하거나 MPP_{CHR}을 인가할 수 있다. 예를 들어, 디지털 로직(186)은 엔드 신호에 따라 리셋 신호(RST1,2)를 인가하여 최대 전력점 전압(V_{MPP})을 초기화할 수 있다.

[0118] 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치(100a)는 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점을 순시 선형 보간 동작에 기초하여 추적함으로써 하베스팅 소자(120)와 전력 변환부(160)가 항상 연결되어 있는 상태에서도 추적이 가능하다.

[0119] 이하에서는, 상술한 전자 장치에 관한 다양한 실시예들에 대하여 설명한다. 중복되는 부분에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0120] 도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 전자 장치를 나타낸 도면이고, 도 10은 도 9에 포함된 제어부의 상세도이다.

[0121] 도 9를 참조하면, 전자 장치(100b)는 상술한 하베스팅 소자(120), 배터리(140), 전력 변환부(160) 및 MPPT 회로(180)에 더하여 제어부(200)를 포함한다.

[0122] 하베스팅 소자(120), 배터리(140), 전력 변환부(160) 및 MPPT 회로(180)는 상술한 바와 같이 다양한 동작들에 기초하여 최대 전력점을 추출한다.

[0123] 제어부(200)는 전력 변환부(160)에 연결되어 전력 변환부(160)를 제어하도록 구성된다.

[0124] 도 10을 참조하면, 제어부(200)는 제1 비교기 내지 제3 비교기(211 내지 213), 모드 선택부(220), 드라이버(260), 적응형 IL 제어부(230), 영전류 검출기(240) 및 주파수 변조기(250)를 포함한다.

[0125] 제1 비교기 내지 제3 비교기(211 내지 213)는 모드 선택을 위한 비교 신호를 생성한다.

[0126] 제1 비교기(211)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(VIN)과 최대 전력점 전압(V_{MPP})을 비교하여 제1 비교 신호(CMP_{IN})를 생성한다. 제2 비교기(212)는 부하(Load)의 전압과 기 설정된 하이 기준 전압($V_{REF,H}$)을 비교하여 제2 비교 신호(CMP_{OH})를 생성한다. 제3 비교기(213)는 부하(Load)의 전압과 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$)을 비교하여 제3 비교 신호(CMP_{OL})를 생성한다.

[0127] 모드 선택부(220)는 제1 비교 신호 내지 제3 비교 신호에 기초하여 상술한 제1 모드 내지 제4 모드 중 하나를 선택하고, 선택된 모드 정보를 포함하는 모드 신호(MOD)를 드라이버(260)에 전송한다.

[0128] 적응형 IL 제어부(230)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN}), 배터리 전압(V_{BAT})과 부하 전압(V_{OUT})을 비교하고, 상술한 전력 변환부(160)에 포함된 인덕터(L) 전류를 제어하기 위해 전력 변환부(160)의 동작 시작 시간(예를 들어, 상술한 제1-1 페이즈(Φ1-1) 내지 제4-1 페이즈(Φ4-1)의 시작 시간)을 제어하기 위한 제1 제

어 신호(T_{ON})를 생성하고 드라이버(260)에 전달한다.

[0129] 영전류 검출기(240)는 배터리 전압(V_{BAT}), 부하 전압(V_{OUT}) 및 제1 노드(V_{L1})의 전압을 비교하고, 전력 변환부(160)의 동작 종료 시간을 제어하기 위한 제2 제어 신호(ZCD)를 생성하고 드라이버(260)에 전달한다.

[0130] 주파수 변조기(250)는 제2 비교 신호 및 제3 비교 신호를 비교하고, 그에 따라 클록 신호(CLK)를 조절한다. 예를 들어, 주파수 변조기(250)는 제2 비교 신호 및 제3 비교 신호의 비교에 따라 부하 전압(V_{OUT})이 기 설정된 하이 기준 전압($V_{REF,H}$)과 로우 기준 전압($V_{REF,L}$)으로 정의되는 구간 중 어느 구간에 위치하는지를 판단하고, 그에 따라 클록 신호(CLK)의 주파수를 조절할 수 있다.

[0131] 드라이버(260)는 모드 신호(MOD), 제1 제어 신호(T_{ON}), 제2 제어 신호(ZCD) 및 클록 신호(CLK)에 기초하여 전력 변환부(160)에 포함된 제1 스위치 내지 제6 스위치(TR1 내지 TR6)의 게이트에 인가되는 제어 신호들(S1 내지 S6)을 생성 및 인가할 수 있다. 제어 신호들(S1 내지 S6)은 제1 스위치 내지 제6 스위치(TR1 내지 TR6)가 언제 온되고 오프되는지를 제어하는 신호로 이해될 수 있을 것이다.

[0132] 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치(100b)는 MPPT 회로(180)에 기초하여 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점을 순시 선형 보간 동작에 기초하여 추적함으로써 하베스팅 소자(120)와 전력 변환부(160)가 항상 연결되어 있는 상태에서도 추적이 가능하며, 최대 전력점 추적 동작을 인덕터(L) 전류의 제어와 영전류 검출에 따라 효율적으로 수행할 수 있다. 또한, 전압 비교에 따라 부하(Load)의 상황을 고려한 다양한 모드들을 선택하여 전력 변환부(160)를 구동시킬 수 있다.

[0133] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치의 전력 변환 방법의 순서도이다.

[0134] 도 11을 참조하면, S110에서 전자 장치(100a, 100b)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN}), 최대 전력점 전압(V_{MPP}), 기 설정된 하이 기준 전압($V_{REF,H}$) 및 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$)을 비교한다. 예를 들어, 전자 장치(100a, 100b)는 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 크고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 크면 제1 모드로 결정하고, 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 크고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 크고 기 설정된 하이 기준 전압($V_{REF,H}$) 보다 작으면 제2 모드로 결정하고, 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 크고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 작으면 제3 모드로 결정하고, 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})이 하베스팅 소자(120)의 최대 전력점 전압(V_{MPP}) 보다 작고, 부하(Load)의 전압이 기 설정된 로우 기준 전압($V_{REF,L}$) 보다 작으면 제4 모드로 결정할 수 있다.

[0135] S120에서, 전자 장치(100a, 100b)는 결정된 하나의 모드에 따라 부하(Load)에 전력을 전달한다. 전력 전달은 제1 스위치 내지 제6 스위치(TR1 내지 TR6)를 결정된 하나의 모드에 따라 온/오프하여 부스트, 벅 또는 벅-부스트 변환에 따라 전달한다.

[0136] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 전자 장치(100a, 100b)의 최대 전력점 추적 방법의 순서도이다.

[0137] 도 12를 참조하면, S210에서 전자 장치(100a, 100b)는 하베스팅 단계에서 $V_{IN,1}$ 및 $V_{IN,2}$를 추출한다. S210은 상술한 바와 같이 제1 점을 획득하기 위한 단계로 이해될 수 있을 것이다.

[0138] S220에서, 전자 장치(100a, 100b)는 추출 전류(I_{EX})를 인가하고 그에 따라 하베스팅 소자(120)의 출력 전압(V_{IN})에 대한 $V_{IN,3}$를 추출한다.

[0139] S230에서, 전자 장치(100a, 100b)는 충전 전류를 인가하고 출력 전압(V_{IN})을 V_{TEG}까지 충전한다. 충전 전류의 인가는 상술한 수학식 12에 기초하여 수행될 수 있다.

[0140] S240에서, 전자 장치(100a, 100b)는 최대 전력점을 획득할 수 있다. 전자 장치(100a, 100b)는 전하 공유를 통해 V_{TEG}의 절반이 되는 값을 최대 전력점으로써 획득할 수 있다.

[0141] 상술한 내용은 본 발명을 실시하기 위한 구체적인 실시 예들이다. 본 발명은 상술한 실시 예들 이외에도, 단순

하게 설계 변경되거나 용이하게 변경할 수 있는 실시 예들도 포함될 것이다. 또한, 본 발명은 실시 예들을 이용하여 용이하게 변형하여 실시할 수 있는 기술들도 포함될 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 상술한 실시 예들에 국한되어 정해져서는 안되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 발명의 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0142] 전자 장치: 100a, 100b

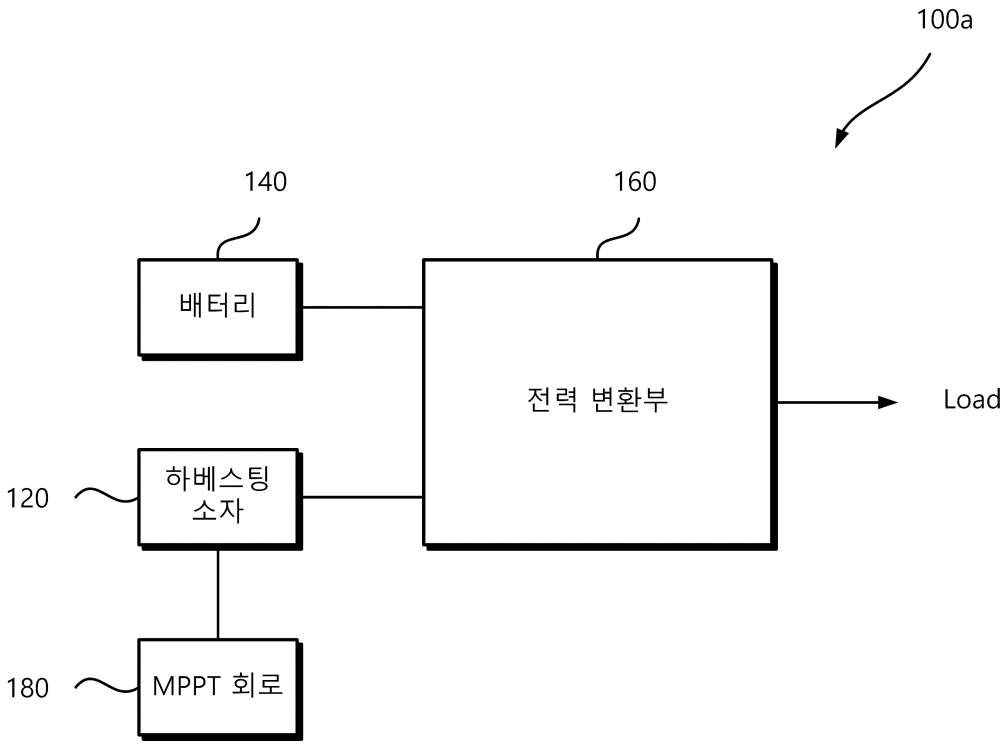
하베스팅 소자: 120 배터리: 140

전력 변환부: 160 MPPT 회로: 180

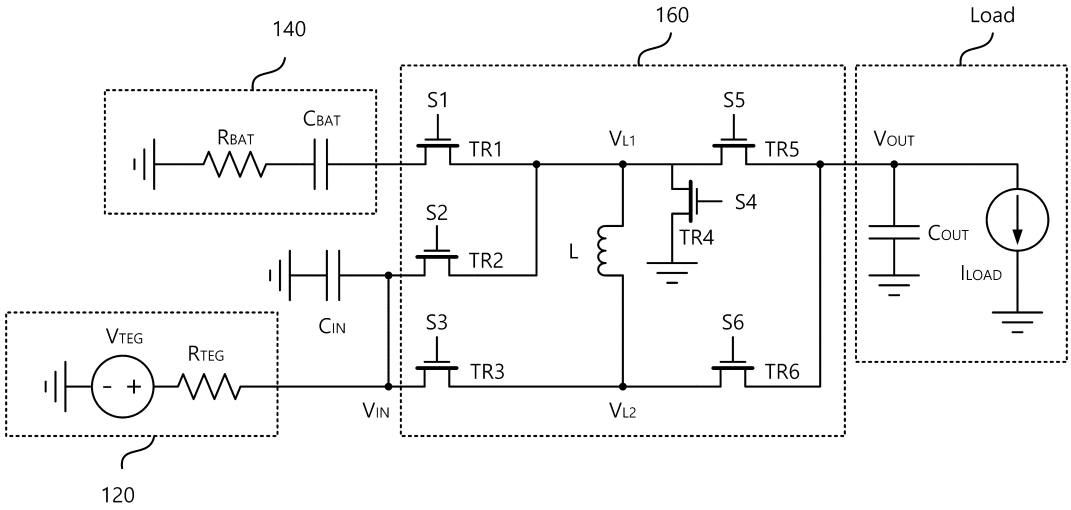
제어부: 200

도면

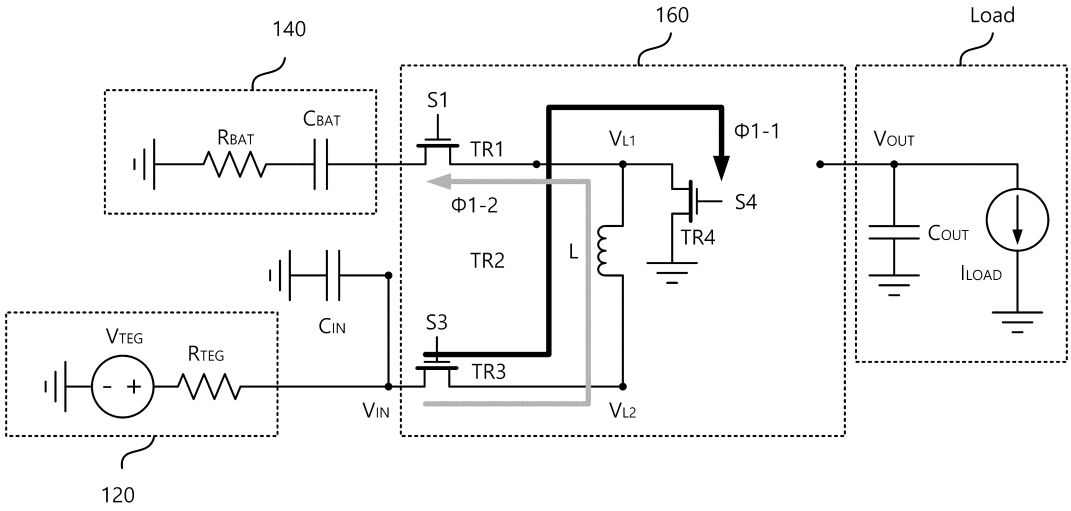
도면1



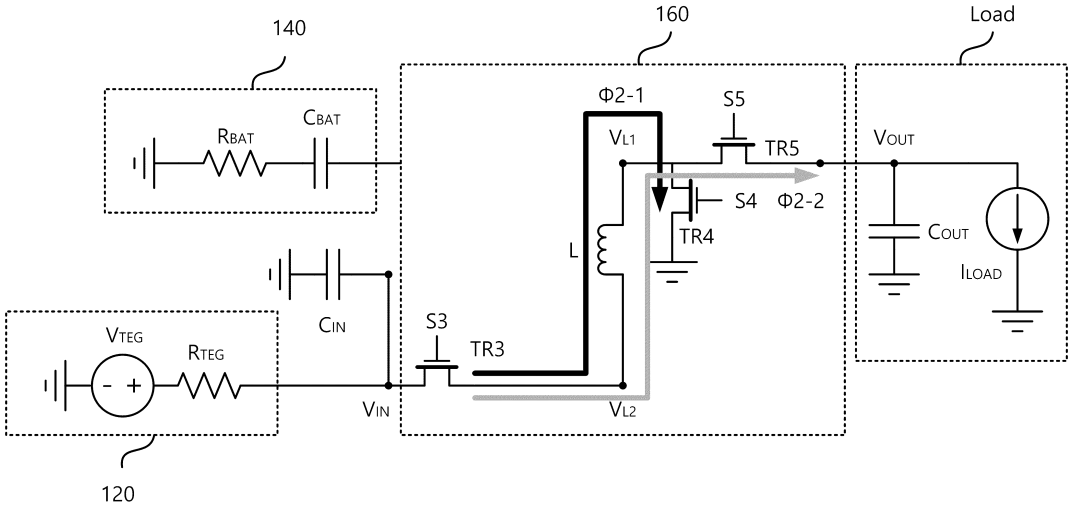
도면2



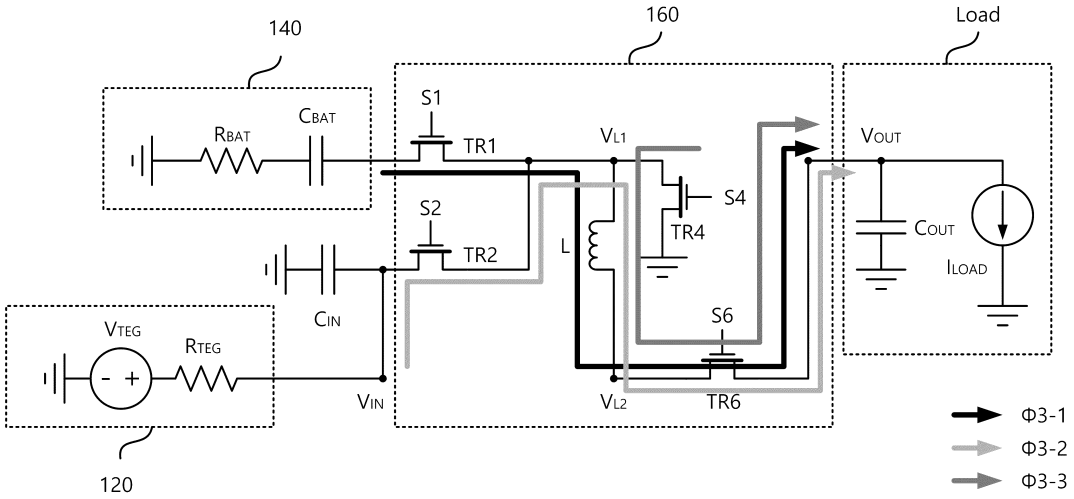
도면3a



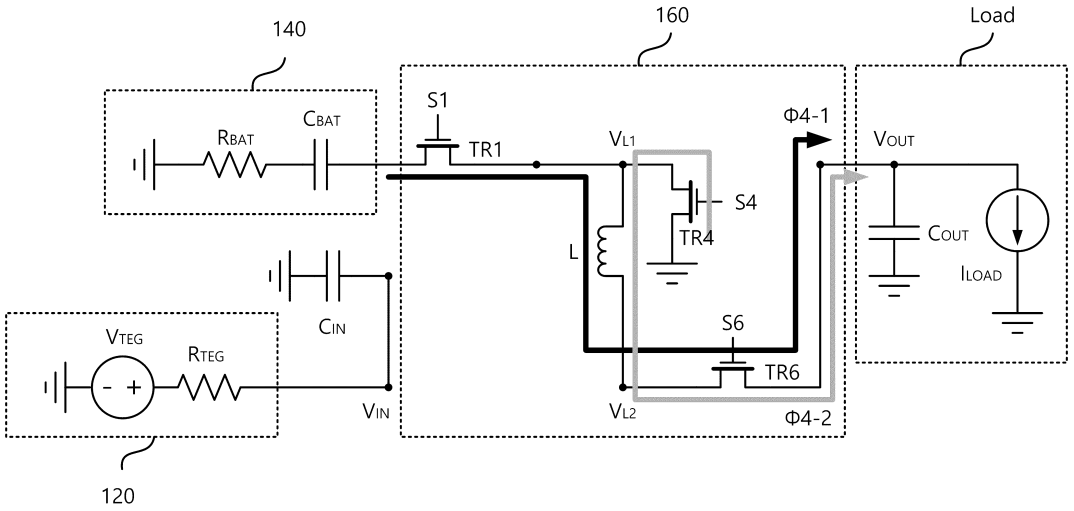
도면3b



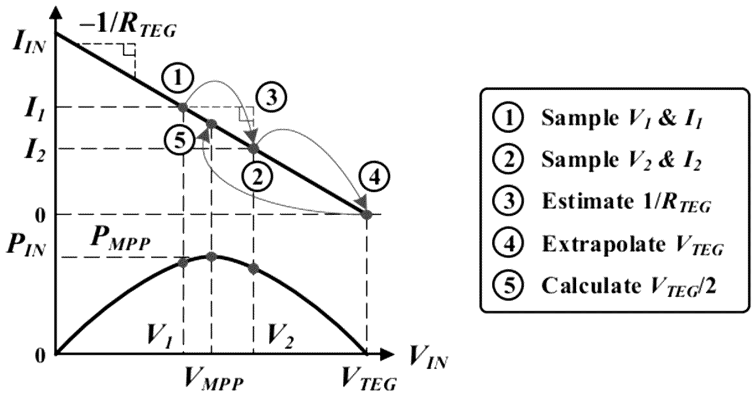
도면3c



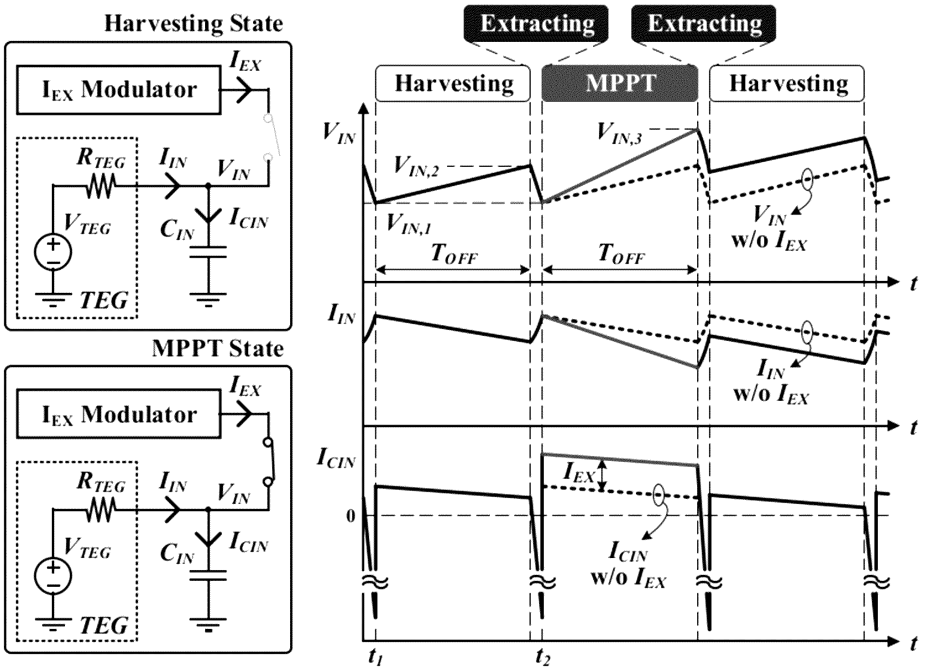
도면3d



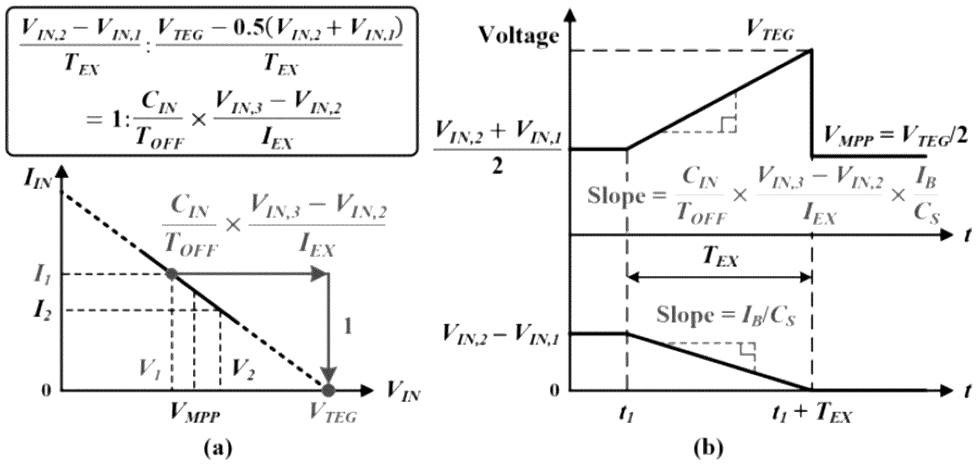
도면4



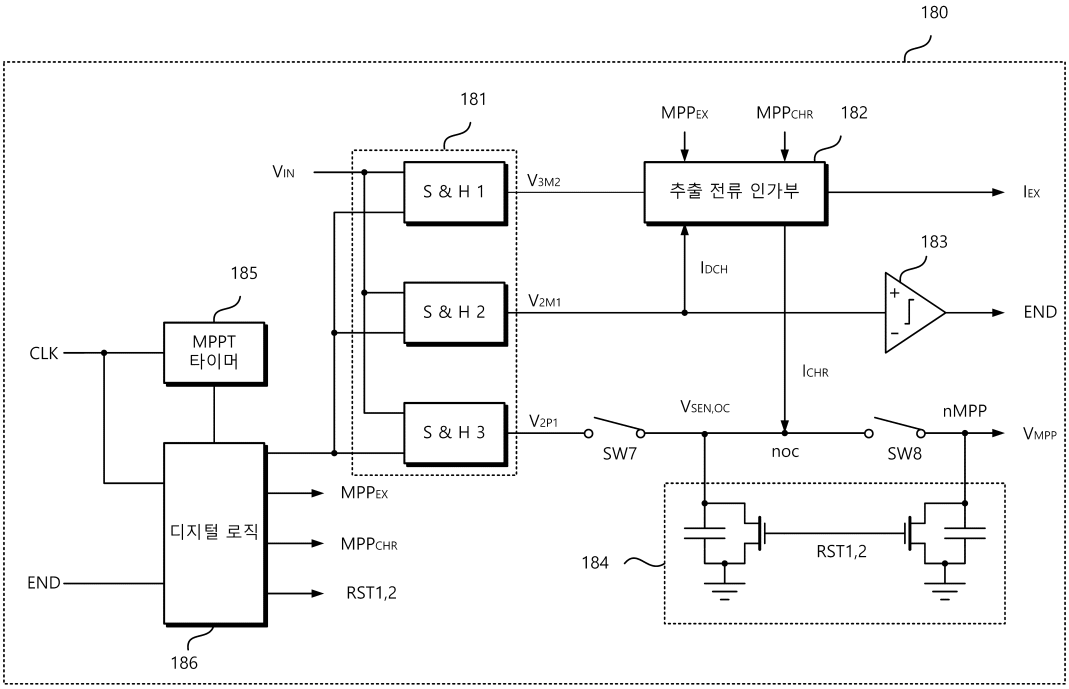
도면5


Harvesting State
I_{EX} Modulator
I_{EX}
R_{TEG}
I_{IN}
V_{IN}
V_{TEG}
C_{IN}
I_{CIN}
TEG
MPPT State
I_{EX} Modulator
I_{EX}
R_{TEG}
I_{IN}
V_{IN}
V_{TEG}
C_{IN}
I_{CIN}
TEG
Extracting
Extracting
Harvesting
MPPT
Harvesting
V_{IN}
$V_{IN,3}$
$V_{IN,2}$
$V_{IN,1}$
V_{IN} w/o I_{EX}
T_{OFF}
T_{OFF}
t
I_{IN}
I_{IN} w/o I_{EX}
t
I_{CIN}
I_{EX}
0
I_{CIN} w/o I_{EX}
t
t_1
t_2

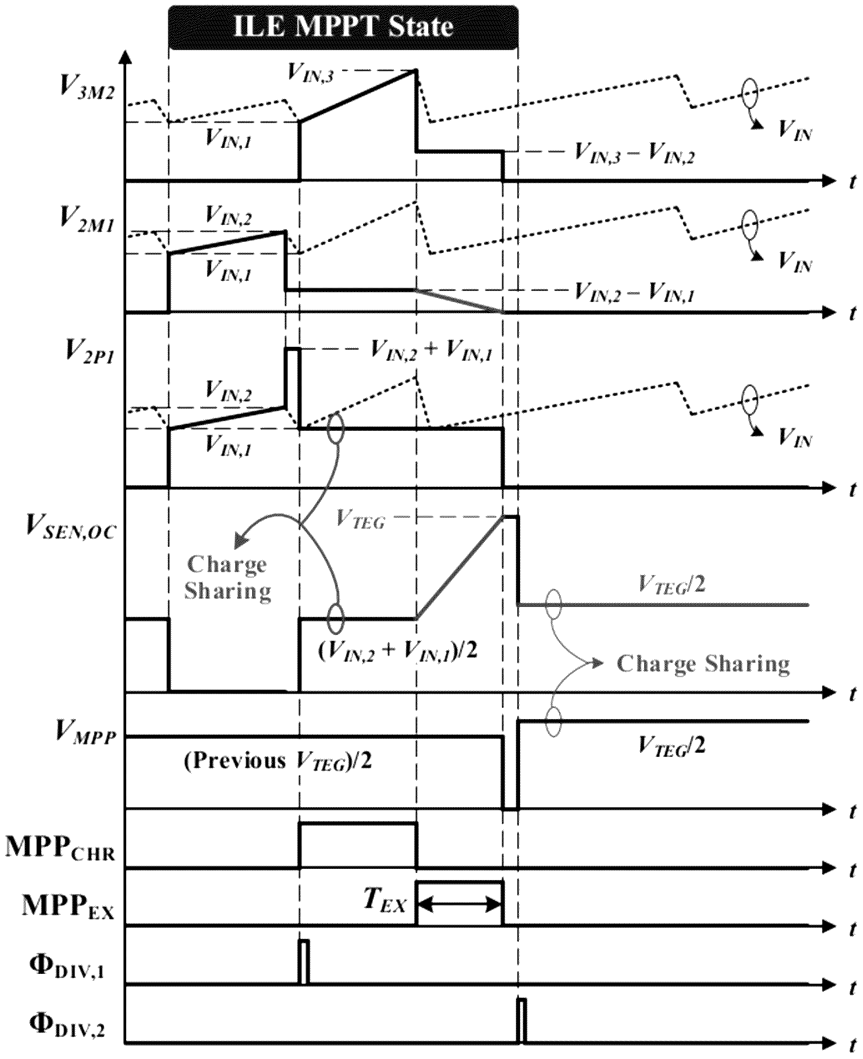
도면6


$\frac{V_{IN,2}-V_{IN,1}}{T_{EX}} : \frac{V_{TEG}-0.5(V_{IN,2}+V_{IN,1})}{T_{EX}}$
$= 1 : \frac{C_{IN}}{T_{OFF}} \times \frac{V_{IN,3}-V_{IN,2}}{I_{EX}}$
I_{IN}
$\frac{C_{IN}}{T_{OFF}} \times \frac{V_{IN,3}-V_{IN,2}}{I_{EX}}$
I_1
I_2
1
V_1
V_2
0
V_{IN}
V_{MPP}
V_{TEG}
(a)
Voltage
V_{TEG}
$\frac{V_{IN,2}+V_{IN,1}}{2}$
$V_{MPP} = V_{TEG}/2$
Slope = $\frac{C_{IN}}{T_{OFF}} \times \frac{V_{IN,3}-V_{IN,2}}{I_{EX}} \times \frac{I_B}{C_S}$
t
T_{EX}
Slope = I_B/C_S
$V_{IN,2}-V_{IN,1}$
0
t
t_1
$t_1 + T_{EX}$
(b)

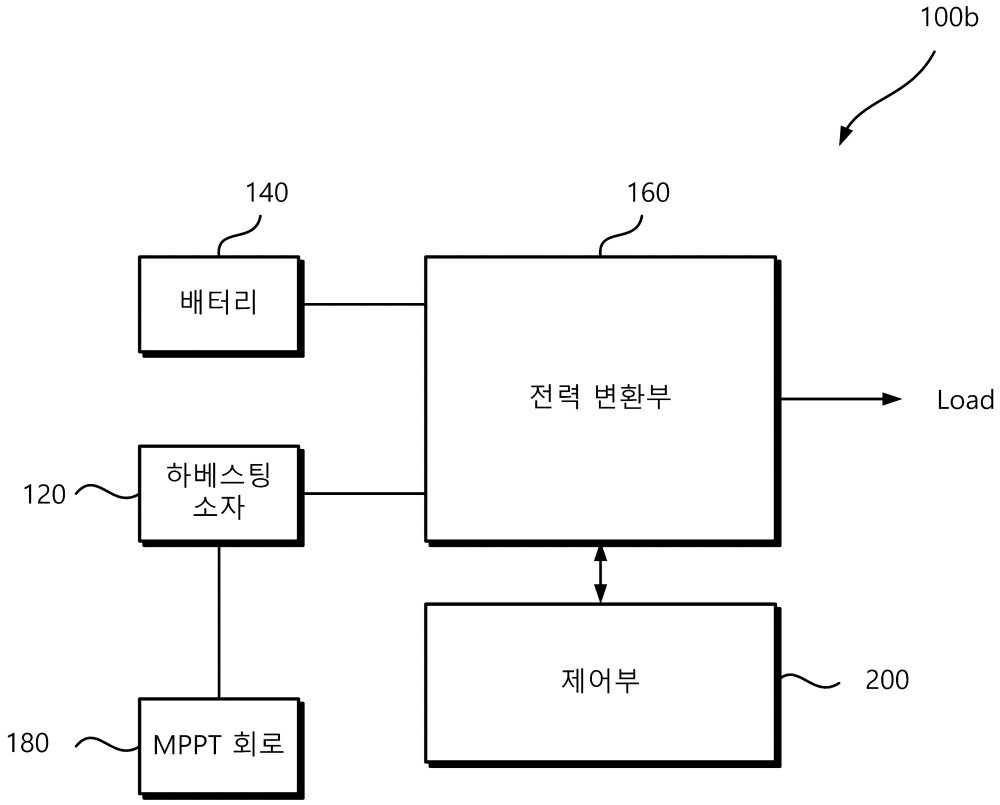
도면7


180
181
182
183
184
185
186
VIN
S & H 1
S & H 2
S & H 3
V3M2
V2M1
V2P1
MPPEX
MPPCHR
추출 전류 인가부
IEX
IDCH
ICHR
END
VSEN,OC
SW7
noc
SW8
nMPP
VMPP
RST1,2
CLK
MPPT
타이머
디지털 로직
MPPEX
MPPCHR
RST1,2
END

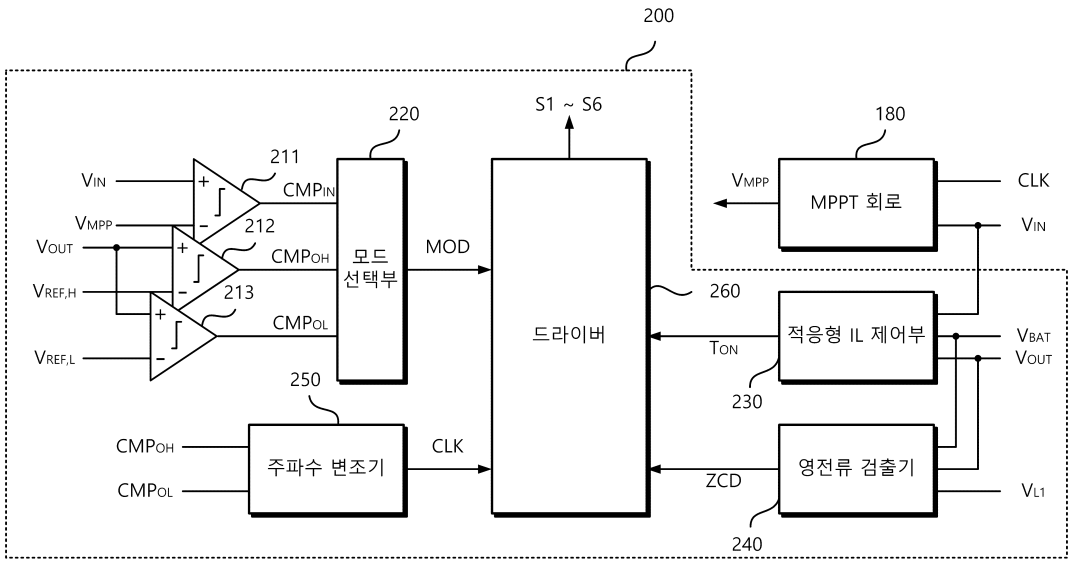
도면8


ILE MPPT State
V_{3M2}
$V_{IN,3}$
$V_{IN,1}$
V_{IN}
$V_{IN,3} - V_{IN,2}$
t
V_{2M1}
$V_{IN,2}$
$V_{IN,1}$
V_{IN}
$V_{IN,2} - V_{IN,1}$
t
V_{2P1}
$V_{IN,2} + V_{IN,1}$
$V_{IN,2}$
$V_{IN,1}$
V_{IN}
t
$V_{SEN,OC}$
V_{TEG}
Charge Sharing
$V_{TEG}/2$
$(V_{IN,2} + V_{IN,1})/2$
Charge Sharing
t
V_{MPP}
(Previous V_{TEG})/2
$V_{TEG}/2$
t
MPP_{CHR}
t
MPP_{EX}
T_{EX}
t
$\Phi_{DIV,1}$
t
$\Phi_{DIV,2}$
t

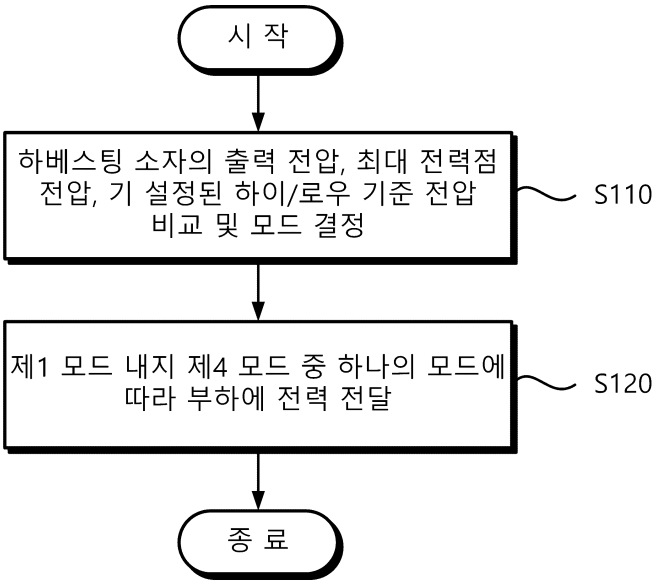
도면9


100b
140
160
배터리
전력 변환부
Load
120
하베스팅 소자
제어부
200
180
MPPT 회로

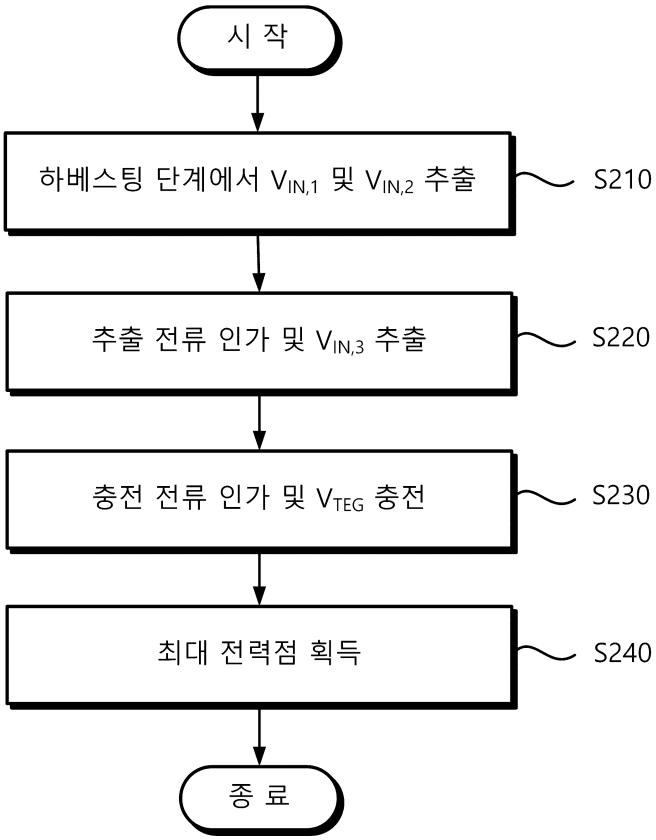
도면10


200
220
S1 ~ S6
180
211
VIN
CMPIN
VMPP
212
VOUT
CMPOH
모드 선택부
MOD
VREF,H
213
CMPOL
VREF,L
260
드라이버
VMPP
MPPT 회로
CLK
VIN
TON
적응형 IL 제어부
VBAT
VOUT
230
250
CMPOH
주파수 변조기
CLK
CMPOL
ZCD
영전류 검출기
VL1
240

도면11


시 작
하베스팅 소자의 출력 전압, 최대 전력점 전압, 기 설정된 하이/로우 기준 전압 비교 및 모드 결정
S110
제1 모드 내지 제4 모드 중 하나의 모드에 따라 부하에 전력 전달
S120
종 료

도면12


시 작
하베스팅 단계에서 $V_{IN,1}$ 및 $V_{IN,2}$ 추출
S210
추출 전류 인가 및 $V_{IN,3}$ 추출
S220
충전 전류 인가 및 V_{TEG} 충전
S230
최대 전력점 획득
S240
종 료