



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0075318
(43) 공개일자 2017년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02M 7/04 (2006.01) H02N 2/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02M 7/043 (2013.01)
H02N 2/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0184817
(22) 출원일자 2015년12월23일
심사청구일자 2015년12월23일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김용신
서울시 동작구 상도로 346-2, 201동 703호
윤성진
서울시 중랑구 숙선옹주로 91, 407동 313호
(74) 대리인
김동용, 김홍석

전체 청구항 수 : 총 9 항

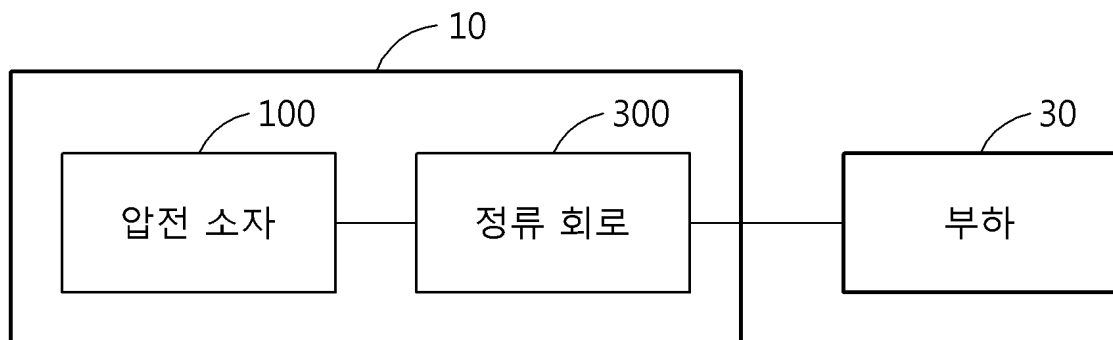
(54) 발명의 명칭 정류 회로 및 이를 포함하는 압전 에너지 하베스터

(57) 요약

정류 회로가 개시된다. 상기 정류 회로는 입력단에 접속된 제1 스위칭 소자, 상기 스위칭 소자의 출력단에 접속된 인덕터, 상기 인덕터의 출력단과 출력단 사이에 접속된 제2 스위칭 소자, 상기 제1 스위칭 소자의 출력단과 접지 사이에 접속된 제3 스위칭 소자, 및 상기 인덕터의 출력단과 접지 사이에 접속된 제4 스위칭 소자를 포함한다.

정류 회로.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2014R1A1A1003771

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 (구)신진연구지원사업

연구과제명 태양전지 셀 기반의 분산형 태양광 발전을 위한 스마트 전력 최적화 시스템

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교

연구기간 2014.05.01 ~ 2015.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

입력단에 접속된 제1 스위칭 소자;
상기 스위칭 소자의 출력단에 접속된 인덕터;
상기 인덕터의 출력단과 출력단 사이에 접속된 제2 스위칭 소자;
상기 제1 스위칭 소자의 출력단과 접지 사이에 접속된 제3 스위칭 소자; 및
상기 인덕터의 출력단과 접지 사이에 접속된 제4 스위칭 소자를 포함하는,
정류 회로.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 제1 스위칭 소자 내지 상기 제4 스위칭 소자 각각은 입력되는 제어 신호에 응답하여 턴 온(turn on)되거나 턴 오프(turn off)되는,
정류 회로.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 정류 회로는 적어도 일부 구간 동안 제1 스테이트 또는 제4 스테이트로 동작하며,
상기 제1 스테이트 또는 제4 스테이트 동안,
상기 제1 스위칭 소자와 상기 제2 스위칭 소자 중 적어도 하나는 턴 오프 상태이고,
상기 제3 스위칭 소자는 턴 오프 상태이고,
상기 제4 스위칭 소자는 턴 오프 상태인,
정류 회로.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 정류 회로는 적어도 일부 구간 동안 제2 스테이트로 동작하며,
상기 제2 스테이트 동안,
상기 제1 스위칭 소자는 턴 온 상태이고,
상기 제2 스위칭 소자는 턴 온 상태이고,
상기 제3 스위칭 소자는 턴 오프 상태이고,
상기 제4 스위칭 소자는 턴 오프 상태인,

정류 회로.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 정류 회로는 적어도 일부 구간 동안 제3 스테이트로 동작하며,
상기 제3 스테이트 동안,
상기 제1 스위칭 소자는 턴 오프 상태이고,
상기 제2 스위칭 소자는 턴 온 상태이고,
상기 제3 스위칭 소자는 턴 온 상태이고,
상기 제4 스위칭 소자는 턴 오프 상태인,
정류 회로.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 정류 회로는 적어도 일부 구간 동안 제5 스테이트로 동작하며,
상기 제5 스테이트 동안,
상기 제1 스위칭 소자는 턴 온 상태이고,
상기 제2 스위칭 소자는 턴 오프 상태이고,
상기 제3 스위칭 소자는 턴 오프 상태이고,
상기 제4 스위칭 소자는 턴 온 상태인,
정류 회로.

청구항 7

압전 소자; 및
제1항에 기재된 정류 회로를 포함하고,
상기 정류 회로는 상기 압전 소자의 출력을 수신하여 정류하는,
압전 에너지 하베스터.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 정류 회로는 리셋부를 더 포함하고,
상기 리셋부는,
상기 인덕터와 병렬로 접속된 제1 리셋 스위칭 소자;
상기 제2 스위칭 소자와 병렬로 접속된 제2 리셋 스위칭 소자와 제1 정류 소자; 및
상기 제4 스위칭 소자와 병렬로 접속된 제3 리셋 스위칭 소자와 제2 정류 소자를 포함하는,

압전 에너지 하베스터.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 정류 회로는 각각이 상기 제1 스위칭 소자 내지 상기 제4 스위칭 소자와 상기 제1 리셋 스위칭 소자 내지 상기 제3 리셋 스위칭 소자의 동작을 제어하는 제어 신호들을 출력하는 제어부를 더 포함하는,

압전 에너지 하베스터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 개념에 따른 실시 예는 정류 회로 및 이를 포함하는 압전 에너지 하베스터에 관한 것으로, 특히 자가 구동과 출력 전압 제어가 가능한 고효율 정류 회로 및 이를 포함하는 압전 에너지 하베스터에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 에너지 하베스팅(energy harvesting) 기술은 태양광 발전, 열전소자의 제벡(Seebeck) 효과를 이용하여 온도 차로부터 전기 에너지를 얻는 열전 발전 및 압전체를 이용하여 주변의 진동이나 충격으로부터 전기 에너지를 얻는 압전 발전으로 나눌 수 있다.

[0004] 특히, 압전체를 이용한 에너지 하베스팅 기술은 압전체에 기계적 변형이 인가될 경우, 전기 에너지가 발생하는 효과를 이용하여 주위의 버려지는 힘, 압력, 진동 등의 에너지를 전기 에너지로 변환하여 주는 것을 말한다.

[0005] 압전체를 이용한 에너지 하베스팅 기술은 작은 진동을 전기 에너지로 변환하는데 용이하며 태양광이 없는 어두운 곳이나 밤에도 발전을 할 수 있는 이점을 가지고 있다. 따라서, 항상 진동이 있거나, 압력이나 힘이 작용하는 곳, 그리고 물의 흐름이 있거나 바람이 부는 곳에서도 사용될 수 있다.

[0006] 압전체를 이용한 에너지 하베스팅 기술은 소자의 사이즈에 따라 매크로 타입의 압전 에너지 하베스터와, MEMS(microelectromechanical system)를 이용한 마이크로 타입의 압전 에너지 하베스터로 구분될 수 있다.

[0007] 매크로 타입의 압전 에너지 하베스터의 경우 사람의 움직임이나 자동차의 진동 등과 같이 큰 움직임이나 진동으로부터 에너지를 발전한 후, 충전을 통해 보조 전력으로 사용하거나 대용량 발전을 하는 반면, 마이크로 타입의 압전 에너지 하베스터의 경우는 MEMS 공정을 이용한 박막 형태 등의 초소형 전기기계식 구조를 설계 및 제조함으로써 소량의 진동이나 충격으로부터의 기계적 에너지를 전기 에너지로 변환하여, 센서나 소형 전자기기의 전원으로 이용하게 된다.

[0008] 그러나, 종래의 마이크로 타입의 압전 에너지 하베스터의 경우, 미세한 진동으로부터 전력을 얻기 어렵고, 기계적인 에너지를 전기 에너지로 변환하는 효율이 떨어지며, Self-startup이 안되거나 출력 전압 제어가 어려운 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1022136호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명이 이루고자 하는 기술적인 과제는 자가 구동과 출력 전압 제어가 가능한 고효율 정류 회로 및 이를 포함하는 압전 에너지 하베스터를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 일 실시 예에 따른 정류 회로는 입력단에 접속된 제1 스위칭 소자, 상기 스위칭 소자의 출력단에 접속된 인덕터, 상기 인덕터의 출력단과 출력단 사이에 접속된 제2 스위칭 소자, 상기 제1 스위칭 소자의 출력단과 접지 사이에 접속된 제3 스위칭 소자, 및 상기 인덕터의 출력단과 접지 사이에 접속된 제4 스위칭 소자를 포함한다.
- [0014] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 압전 에너지 하베스터는 압전 소자 및 상기 정류 회로를 포함하고, 상기 정류 회로는 상기 압전 소자의 출력을 수신하여 정류한다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 실시 예에 따른 정류 회로 및 이를 포함하는 압전 에너지 하베스터에 의할 경우, 셀프 스타트업과 출력 전압의 제어가 가능한 효과가 있다.
- [0017] 또한, 본 발명의 실시 예에 따른 정류 회로 및 이를 포함하는 압전 에너지 하베스터에 의할 경우, 기계적인 에너지를 전기 에너지로 변환하는 효율이 높은 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 본 발명의 상세한 설명에서 인용되는 도면을 보다 충분히 이해하기 위하여 각 도면의 상세한 설명이 제공된다.
- 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 압전 에너지 하베스터를 도시한다.
- 도 2는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 회로도이다.
- 도 3은 도 1에 도시된 정류 회로의 스테이트를 설명하기 위한 도면으로, 도 3a는 정류 회로의 제1 스테이트를 도시하고, 도 3b는 정류 회로의 제2 스테이트를 도시하고, 도 3c는 정류 회로의 제3 스테이트를 도시하고, 도 3d는 정류 회로의 제4 스테이트를 도시하고, 도 3e는 정류 회로의 제5 스테이트를 도시하고, 도 3f는 압전 소자에 의해 발생하는 전류와 정류 회로의 스테이지에 따른 입력 전압, 인덕터 전류, 출력 전압의 변화를 도시한다.
- 도 4는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 다른 실시 예를 도시한다.
- 도 5는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 동작 모드를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터로부터 수확되는 에너지를 도시한다.
- 도 7은 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 최대 입력 전력, 시스템 효율, 및 최대 출력 전력을 도시한다.
- 도 8은 정규화된(normalized) 최대 출력 전력을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되지 않는다.
- [0021] 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

- [0022] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.
- [0023] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0024] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0025] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0026] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명한다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 압전 에너지 하베스터를 도시한다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 압전 에너지 하베스터(10)는 압전 소자(100)와 정류 회로(300)를 포함한다.
- [0030] 압전 소자(100)는 진동과 같은 기계적인 에너지를 전기 에너지로 변환하여 출력할 수 있으며, 정류 회로(300)는 압전 소자(100)의 출력을 정류하여 부하(30) 공급할 수 있다. 압전 에너지 하베스터(10)에 포함된 압전 소자(100)의 구조 및 기능은 실시 예에 따라 상이할 수 있으며, 본 발명의 권리범위가 압전 소자(100)의 구조 및 기능 등에 의하여 제한되지 않음은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명하다.
- [0032] 도 2는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 회로도이다.
- [0033] 도 1과 도 2를 참조하면, 압전 소자(100)는 입력되는 기계적인 에너지에 대응하는 전류(i_{pz})를 생성하는 전류원(110), 캐패시터(C_{pz}), 및 저항(R_{pz})이 출력단과 접지 사이에 병렬로 접속된 등가 회로로 모델링될 수 있다.
- [0034] 정류 회로(300)는 적어도 4 개의 스위칭 소자(S_1, S_2, S_3, S_4)와 인덕터(L)를 포함할 수 있다. 구체적으로 정류 회로(300)는 압전 소자(100)의 출력단 또는 정류 회로(300)의 입력단과 접속되는 스위칭 소자(S_1), 스위칭 소자(S_1)의 출력단과 접속되는 인덕터(L), 인덕터(L)의 출력단과 접속되는 스위칭 소자(S_2), 스위칭 소자(S_1)의 출력단과 접지 사이에 접속되는 스위칭 소자(S_3), 및 인덕터(L)의 출력단과 접지 사이에 접속되는 스위칭 소자(S_4)를 포함할 수 있다. 정류 회로(300)는 미리 정해진 5 개의 스테이트(state) 중 하나의 스테이트로 동작할 수 있다. 상기 5 개의 스테이트에 관한 상세한 설명은 후술하기로 한다.
- [0035] 부하(30)는 병렬로 접속된 캐피시터(C_L)와 저항(R_L)으로 모델링될 수 있다.
- [0036] 상술한 정류 회로(300)는 압전 소자(100)의 출력을 정류하는 용도로 설명되었으나, 정류 회로(300)의 용도가 이에 제한되어 이해되어서는 아니 되며, 다양한 실시 예가 가능하다.

- [0038] 도 3은 도 1에 도시된 정류 회로의 스테이트를 설명하기 위한 도면으로, 도 3a는 정류 회로의 제1 스테이트를 도시하고, 도 3b는 정류 회로의 제2 스테이트를 도시하고, 도 3c는 정류 회로의 제3 스테이트를 도시하고, 도 3d는 정류 회로의 제4 스테이트를 도시하고, 도 3e는 정류 회로의 제5 스테이트를 도시하고, 도 3f는 압전 소자에 의해 발생하는 전류와 정류 회로의 스테이지에 따른 입력 전압, 인덕터 전류, 출력 전압의 변화를 도시한다. 이하에서 입력 전류(i_{pz})의 파형은 정현파(sinusoidal wave)임을 가정한다.
- [0039] 제1 스테이트는 양의 충전 스테이트(positive charging state)로 명명될 수 있다. 제1 스테이트에서 스위칭 소자(S_1)와 스위칭 소자(S_2) 중 적어도 하나는 턴-오프 상태이고, 스위칭 소자(S_3)와 스위칭 소자(S_4)는 턴-오프 상태이다. 전류(i_{pz})가 양의 값을 갖는 구간 중 적어도 일부 구간, 즉, 도 3f의 t_0 부터 t_1 까지의 구간 또는 t_0' 부터 t_1 까지의 구간 동안 정류 회로(300)는 제1 스테이트로 동작할 수 있다. 여기서, t_0 는 전류(i_{pz})가 음의 값에서 양의 값으로 변환되는 시점을 의미할 수 있고, t_0' 은 t_0 로부터 소정의 시간이 경과한 시점, 예컨대 t_0 로부터 제5 스테이트가 수행될 수 있는 시간이 경과한 시점을 의미할 수 있다. 제1 스테이트에 앞서 제5 스테이트가 선행된다면, t_0' 은 인덕터(L)에 흐르는 전류(I_L)가 0이 되는 시점일 수 있다.
- [0040] 제1 스테이트로 동작하는 정류 회로(300)로 인하여, 압전 소자(100)에 의해 생성된 전류(i_{pz})는 캐패시터(C_{pz})를 충전할 수 있다.
- [0042] 제2 스테이트는 하베스팅 스테이트(harvesting state)로 명명될 수 있다. 제2 스테이트에서 스위칭 소자(S_1)와 스위칭 소자(S_2)는 턴-온 상태이고, 스위칭 소자(S_3)와 스위칭 소자(S_4)는 턴-오프 상태이다. 압전 소자(100)의 출력 전압(V_{pz})이 양의 피크 전압(positive peak voltage)을 갖는 시점이거나 전류(i_{pz})의 부호가 바뀌는 시점인 t_1 부터 t_2 까지의 구간 동안 정류 회로(300)는 제2 스테이트로 동작할 수 있다. t_2 는 t_1 보다는 크거나 같고 후술할 t_3 보다는 작거나 같은 값을 가질 수 있다. 제2 스테이트로 동작하는 정류 회로(300)로 인하여, 압전 소자(100)에 의해 생성되어 캐패시터(C_{pz})에 저장된 에너지는 부하(30)로 전달될 수 있다.
- [0044] 제3 스테이트는 프리휠링 스테이트(freewheeling state)로 명명될 수 있다. 제3 스테이트에서 스위칭 소자(S_1)와 스위칭 소자(S_4)는 턴-오프 상태이고, 스위칭 소자(S_2)와 스위칭 소자(S_3)는 턴-온 상태이다. t_2 부터 t_3 까지의 구간 동안 정류 회로(300)는 제3 스테이트로 동작할 수 있다. t_3 는 인덕터(L)에 흐르는 전류(I_L)가 0이 되는 시점을 의미할 수 있다. 제3 스테이트로 동작하는 정류 회로(300)로 인하여, 인덕터(L)에 잔류하는(또는 저장되어 있는) 에너지가 부하(30)로 전달될 수 있다.
- [0046] 제4 스테이트는 음의 충전 스테이트(negative charging state)로 명명될 수 있다. 이는 제1 스테이트(양의 충전 스테이트)와 극성이 반대인 경우로, 전류(i_{pz})가 음의 값을 갖는 구간 중 적어도 일부 구간, 즉, t_3 부터 t_4 까지의 구간 또는 t_2 부터 t_4 까지의 구간 동안 정류 회로(300)는 제4 스테이트로 동작할 수 있다. 제4 스테이트로 동작하는 정류 회로(300)로 인하여, 압전 소자(100)에 의해 생성된 전류(i_{pz})는 캐패시터(C_{pz})를 충전할 수 있다. 이때, t_0 부터 t_1 까지의 구간 동안 캐패시터(C_{pz})에 충전되는 방향과 t_2 부터 t_4 까지의 구간 동안 캐패시터(C_{pz})에 충전되는 방향은 서로 반대될 수 있다.
- [0048] 제5 스테이트는 차지 리버스 스테이트(charge reverse state)로 명명될 수 있다. 제5 스테이트에서 스위칭 소자(S_1)와 스위칭 소자(S_4)는 턴-온 상태이고, 스위칭 소자(S_2)와 스위칭 소자(S_3)는 턴-오프 상태이다. 압전 소자(100)의 출력 전압(V_{pz})이 음의 피크 전압(negative peak voltage)을 갖는 시점이거나 전류(i_{pz})의 부호가 바뀌는 시점인 t_4 부터 t_5 까지의 구간 동안 정류 회로(300)는 제5 스테이트로 동작할 수 있다. t_5 는 인덕터 전류(I

I_L 가 0이 되는 시점일 수 있다. 제5 스테이트로 동작하는 정류 회로(300)로 인하여, 인덕터(L)에 잔류하는(또는 저장되어 있는) 에너지가 캐패시터(C_{PZ})를 충전할 수 있다. t_5 시점과 t_3 시점은 인덕터 전류(I_L)가 0이 되는 시점이나, t_3 시점은 인덕터 전류(I_L)가 양의 값에서 감소하여 0이 되는 시점인 반면에, t_5 시점은 인덕터 전류(I_L)가 음의 값에서 증가하여 0이 되는 시점이다.

[0049] 상술한 제1 스테이트 부터 제5 스테이트는 앞서 예시한 전류(i_{PZ})에 따라 동작하는 정류 회로(300)의 일 예일 뿐이며, 후술하는 동작 모드(mode)에 따라 반복되는 스테이트의 종류와 순서는 달라질 수 있다.

[0051] 도 4는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 다른 실시 예를 도시한다.

[0052] 도 4를 참조하면, 정류 회로(300)는 정류부와 리셋부를 포함한다. 실시 예에 따라, 정류 회로(300)는 상기 정류부의 동작과 상기 리셋부의 동작을 제어하는 제어 신호를 생성하는 제어부(310)를 더 포함할 수 있다.

[0053] 상기 정류부는 정류 회로(300)의 입력단에 접속된 스위칭 소자(S_1), 스위칭 소자(S_1)의 출력단에 접속된 인덕터(L), 인덕터(L)의 출력단과 정류 회로(300)의 출력단 사이에 접속된 스위칭 소자(S_2), 스위칭 소자(S_1)의 출력단과 접지 사이에 접속된 스위칭 소자(S_3), 인덕터(L)의 출력단과 접지 사이에 접속된 스위칭 소자(S_4)를 포함한다.

[0055] 상기 리셋부는 스위칭 소자(S_1)의 출력단과 인덕터(L)의 출력단 사이에 접속된(또는 인덕터(L)와 병렬로 접속된) 리셋 스위칭 소자(S_{R1}), 인덕터(L)의 출력단과 스위칭 소자(S_2)의 출력단 사이에 접속된(또는 스위칭 소자(S_2)와 병렬로 접속된) 리셋 스위칭 소자(S_{R2}), 및 인덕터(L)의 출력단과 접지 사이에 접속된(또는 스위칭 소자(S_3)와 병렬로 접속된) 리셋 스위칭 소자(S_{R3})를 포함한다. 실시 예에 따라 상기 리셋부는 리셋 스위칭 소자(S_{R2})와 정류 소자(D_1)가 직렬로 접속되어 있고, 이것이 스위칭 소자(S_2)와 병렬로 접속된 구조이다. 또한, 리셋 스위칭 소자(S_{R3})와 정류 소자(D_2)가 직렬로 접속되어 있고, 이것이 스위칭 소자(S_4)와 병렬로 접속된 구조를 더 포함할 수 있다. 정류 소자(D_1)와 정류 소자(D_2)는 다이오드(diode)로 구현될 수 있으며, 각각이 출력단에서 입력단으로 전류가 흐르는 것을 방지하거나 출력단 또는 입력단에서 접지로 전류가 흐르는 것을 방지할 수 있다.

[0057] 제어부(310)는 복수의 스위칭 소자들 각각의 동작을 제어하는 제어 신호를 생성할 수 있다. 제어부(310)는 영전류 감지기(zero current detector, 311), 영전압 감지기(zero voltage detector, 312), 피크전압 감지기(peak voltage detector, 313), 가산기(adder, 314), 보상기(compensator, 315), 제1 전압 분배기(voltage divider, 316), 제2 전압 분배기(317), 트리거(trigger, 318), 및 스위치 제어기(switch controller, 319) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0059] 영전류 감지기(311)는 입력 전류를 모니터링 하여 입력 전류가 "0"이 되는 시점을 감지하여 감지 신호(V_{ZCD})를 출력할 수 있다.

[0060] 영전압 감지기(312)는 입력 전압(V_{IN}) 또는 제1 전압 분배기에 의해 분배된 입력 전압을 수신하고, 수신된 입력 전압이 "0"이 되는 시점을 감지하여 감지 신호(V_{ZVD})를 출력할 수 있다.

[0061] 피크전압 감지기(313)는 입력 전압(V_{IN})의 피크 전압을 감지하여 감지 신호(V_{PK})를 출력할 수 있다. 상기 피크 전압은 양의 피크 전압과 음의 피크 전압을 포함하는 개념으로 이해될 수 있다.

[0062] 가산기(314)는 출력 전압(V_{DD}) 또는 제2 전압 분배기에 의해 분배된 출력 전압(V_F)을 수신하여 합산된 신호를 출력한다. 이때, 가산기에 입력되는 출력 전압(V_{DD}) 또는 분배된 출력 전압(V_F)은 반전된 신호이기 때문에 가산기는 기준 전압(V_{REF})과 출력 전압(V_{DD})의 차이 또는 기준 전압(V_{REF})과 분배된 출력 전압(V_F)의 차이를 출력할 수

있다.

- [0063] 보상기(315)는 가산기(314)의 출력 신호를 입력받고, 스위칭 소자들을 제어하기 위한 제어 신호(V_{CON})를 출력할 수 있다. 실시 예에 따라, 보상기(315)는 스위치 제어기(319)에 포함되는 구성으로 구현될 수도 있다. 이 경우, 스위치 제어기(319)는 가산기(314)의 출력 신호를 입력받아 스위칭 소자들을 제어하기 위한 제어 신호를 출력할 수 있다.
- [0064] 제1 전압 분배기(316)는 입력 전압(V_{IN})을 미리 정해진 비율에 따라 분배하여 분배된 전압을 출력하고, 제2 전압 분배기(317)는 출력 전압(V_{DD})을 미리 정해진 비율에 따라 분배하여 분배된 전압(V_F)을 출력할 수 있다.
- [0065] 트리거(318)는 출력 전압(V_{DD})을 모니터링하여, 출력 전압(V_{DD})이 미리 정해진 전압 값 보다 크거나 같아지는 경우, 논리 상태가 변이된 리셋 신호(RST)를 출력할 수 있다. 리셋 신호(RST)는 트리거(318)로부터 출력되어 리셋 스위칭 소자(S_{R1} , S_{R2} , S_{R3})로 전달되거나, 스위치 제어기(319)를 경유하여 리셋 스위칭 소자(S_{R1} , S_{R2} , S_{R3})로 전달될 수 있다. 실시 예에 따라, 트리거(318)는 스위치 제어기(319)에 포함되는 구성으로 구현될 수도 있다. 이 경우, 스위치 제어기(319)는 출력 전압(V_{DD}) 값에 대응되는 논리 상태를 갖는 리셋 신호(RST)를 출력할 수 있다.
- [0066] 스위치 제어기(319)는 스위칭 소자들 각각의 동작을 제어하는 제어 신호를 출력할 수 있다. 스위치 제어기(319)로부터 출력되는 제어 신호에 따라 정류 회로(300)는 제1 스테이트 내지 제5 스테이트 중 어느 하나의 스테이트로 동작하거나, 초기 상태로 동작할 수 있다.
- [0067] 상기 초기 상태는 압전 에너지 하베스터(10)의 초기 구동(start up)을 위한 상태를 의미할 수 있다. 상기 초기 상태에서, 스위칭 소자(S_1 , S_{R1} , S_{R2} , S_{R3})는 턴-온 상태이고, 스위칭 소자(S_2 , S_3 , S_4)는 턴-오프 상태이다. 이 경우, 정류 회로(300)는 배전압 정류기(voltage doubler rectifier)로 동작하게 된다.
- [0068] 이때, 출력 전압(V_{DD})이 일정 전압에 도달하면 트리거는 논리 "하이" 상태의 리셋 신호를 출력함으로써 초기 상태가 종료되고, 정류 회로(300)는 제1 스테이트 내지 제5 스테이트 중 어느 하나의 상태로 동작하게 된다. 즉, 리셋 스위칭 소자(S_{R1} , S_{R2} , S_{R3})는 초기 상태에서만 턴-온되며, 초기 상태가 아닌 동작 상태에서는 턴-오프된다.
- [0069] 인덕터(L)를 제외한 정류 회로(300)의 구성은 하나의 칩으로 구현될 수 있다.
- [0071] 도 5는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 동작 모드를 설명하기 위한 도면이다.
- [0072] 초기 상태가 경과된 후 압전 에너지 하베스터(10)는 제1 모드 내지 제4 모드 중 어느 하나의 모드로 동작할 수 있으며, 각 모드 별로 반복되는 스테이트의 종류와 순서는 상이할 수 있다.
- [0073] 우선, 출력 전력(P_{OUT})은 출력 전압(V_{OUT})에 따라 달라지는데, 그 값이 최대 출력 전력($\max(P_{OUT})$)이고 출력 전압(V_{OUT})이 임계 출력 전압($V_{OUT,crit}=i_{PZ}T/2C_{PZ}$)보다 같거나 작은 경우, 압전 에너지 하베스터(10)는 제1 모드로 동작할 수 있다. 임계 출력 전압($V_{OUT,crit}$)은 생성되는 전류(i_{PZ})에 의해 결정될 수 있다. 상기 제1 모드에서 정류 회로(300)는 제1 스테이트, 제2 스테이트, 제4 스테이트 및 제5 스테이트 순으로 동작할 수 있다.
- [0074] 출력 전력(P_{OUT})이 최대 출력 전력($\max(P_{OUT})$)이고 출력 전압(V_{OUT})이 임계 출력 전압($V_{OUT,crit}$)보다 크거나 같은 경우, 압전 에너지 하베스터(10)는 제2 모드로 동작할 수 있다. 상기 제2 모드에서 정류 회로(300)는 제1 스테이트, 제2 스테이트, 제5 스테이트, 제4 스테이트 및 제5 스테이트 순으로 동작할 수 있다.
- [0075] 출력 전력(P_{OUT})이 최대 출력 전력($\max(P_{OUT})$)보다 작고 출력 전압(V_{OUT})이 임계 출력 전압($V_{OUT,crit}$)보다 작거나 같은 경우, 압전 에너지 하베스터(10)는 제3 모드로 동작할 수 있다. 상기 제3 모드에서 정류 회로(300)는 제1 스테이트, 제2 스테이트, 제3 스테이트, 제4 스테이트 및 제5 스테이트 순으로 동작할 수 있다.
- [0076] 출력 전력(P_{OUT})이 최대 출력 전력($\max(P_{OUT})$)보다 작고 출력 전압(V_{OUT})이 임계 출력 전압($V_{OUT,crit}$)보다 크거나 같은 경우, 압전 에너지 하베스터(10)는 제4 모드로 동작할 수 있다. 상기 제4 모드에서 정류 회로(300)는 제1 스테이트, 제2 스테이트, 제3 스테이트, 제5 스테이트, 제4 스테이트 및 제5 스테이트 순으로 동작할 수 있다.

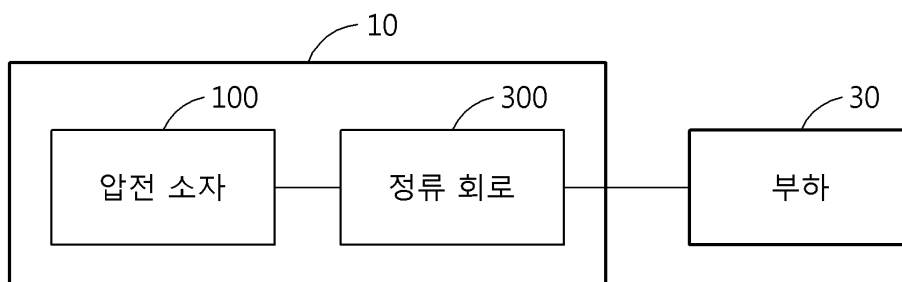
- [0078] 도 6는 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터로부터 수확되는 에너지를 도시한다.
- [0079] 도 6에는 본 발명에 의한 압전 에너지 하베스터, rectifier-free 구조를 이용한 압전 에너지 하베스터, 및 switch rectifier를 이용한 압전 에너지 하베스터 각각의 출력 전압(V_{OUT})에 따른 에너지를 도시하고 있다.
- [0080] 시뮬레이션은 압전 소자(100)의 전류원에 의해 생성되는 전류의 피크값($i_{PZ, peak}$)은 $36\mu A$, 주파수(f_{PZ})는 143Hz의 조건 하에서 수행되었다.
- [0081] 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의한 경우, 기존의 switch rectifier 구조의 압전 에너지 하베스터 대비 최소 100배 이상의 에너지를 수확할 수 있음을 알 수 있다.
- [0083] 도 7은 도 1에 도시된 압전 에너지 하베스터의 최대 입력 전력, 시스템 효율, 및 최대 출력 전력을 도시하고, 도 8은 정규화된(normalized) 최대 출력 전력을 도시한다. 최대 출력 전력은 최대 입력 전력과 시스템 효율의 곱으로 나타낼 수 있다.
- [0084] 도 7과 도 8을 참조하면, 출력 전압(V_{OUT})이 4 V 이하에서 압전 에너지 하베스터(10)의 시스템 효율이 낮음에도 불구하고, rectifier-free 구조를 이용한 압전 에너지 하베스터와 switch rectifier를 이용한 압전 에너지 하베스터 대비 높은 최대 입력 전력으로 인하여 높은 최대 출력 전력을 나타냄을 알 수 있다. 즉, 최대 입력 전력의 경우 종래 기술 대비 10 배에 가까운 수치를 나타내며, 최대 출력 전력의 경우 rectifier-free 구조 대비 최대 400%의 출력 전력을 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- [0085] 시뮬레이션은 압전 소자(100)의 전류원에 의해 생성되는 전류의 피크값($i_{PZ, peak}$)은 $36\mu A$, 주파수(f_{PZ})는 143Hz의 조건 하에서 수행되었다.
- [0087] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

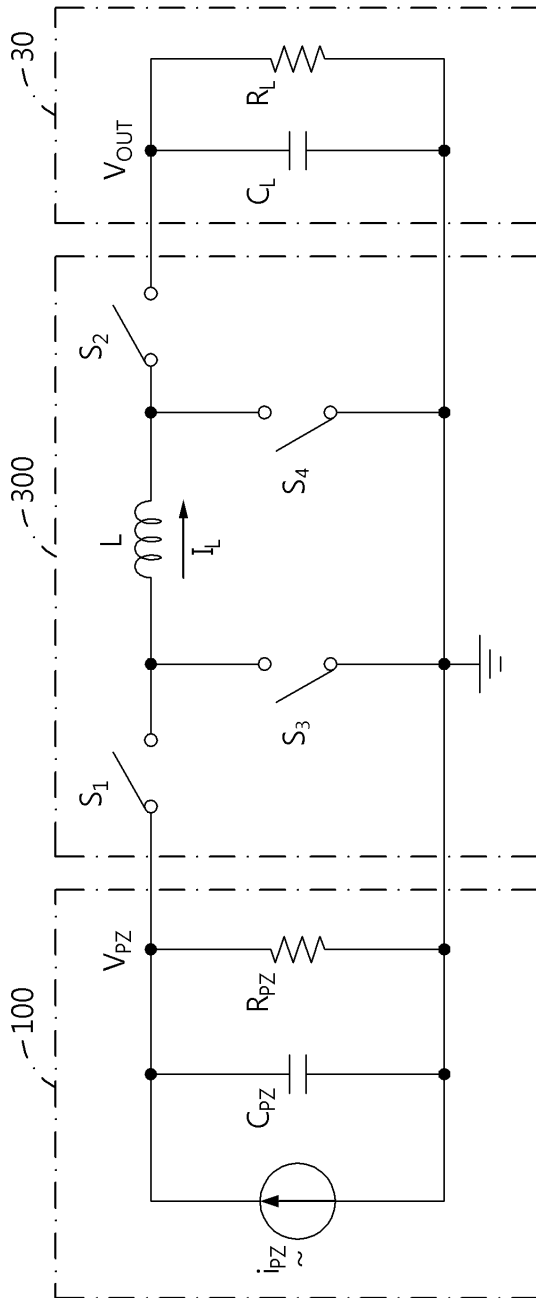
- [0089] 10 : 압전 에너지 하베스터
30 : 부하
100 : 압전 소자
300 : 정류 회로

도면

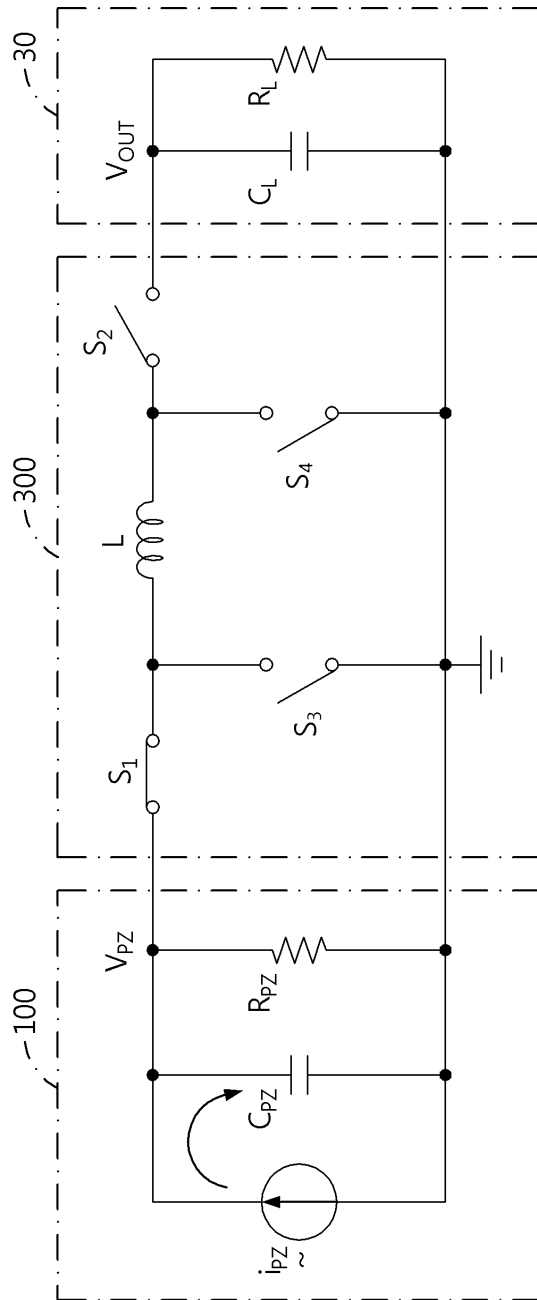
도면1



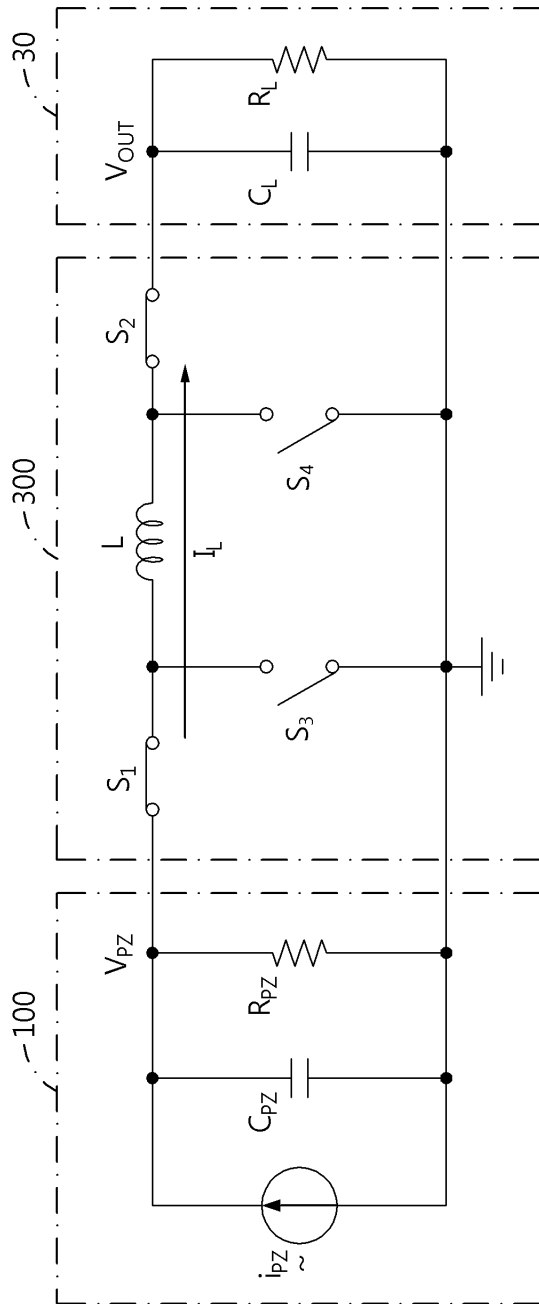
도면2



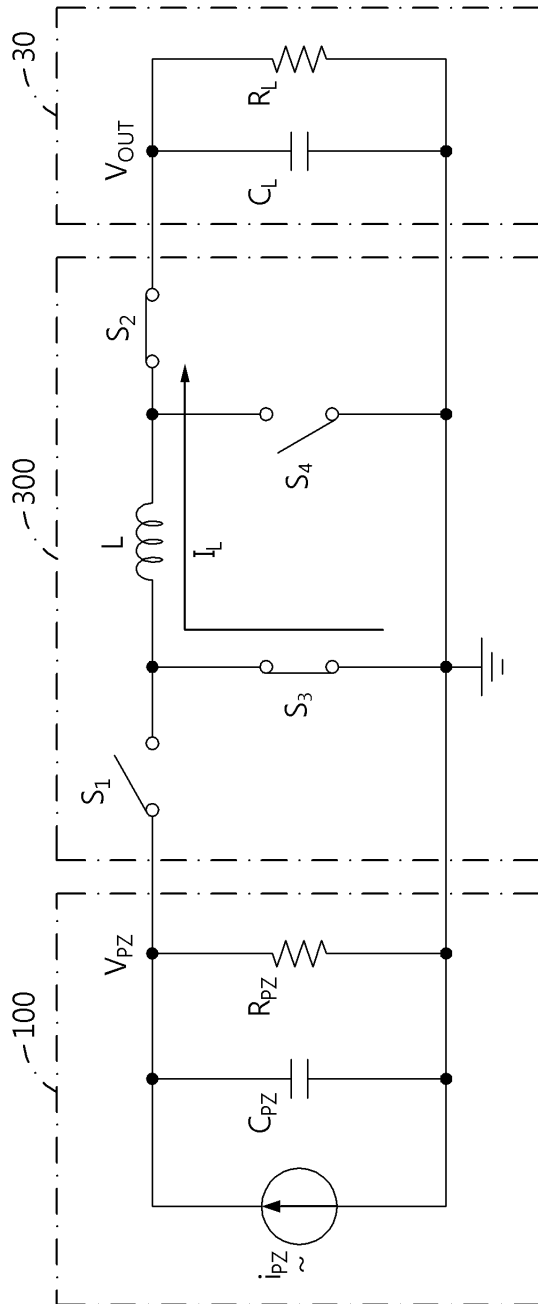
도면3a



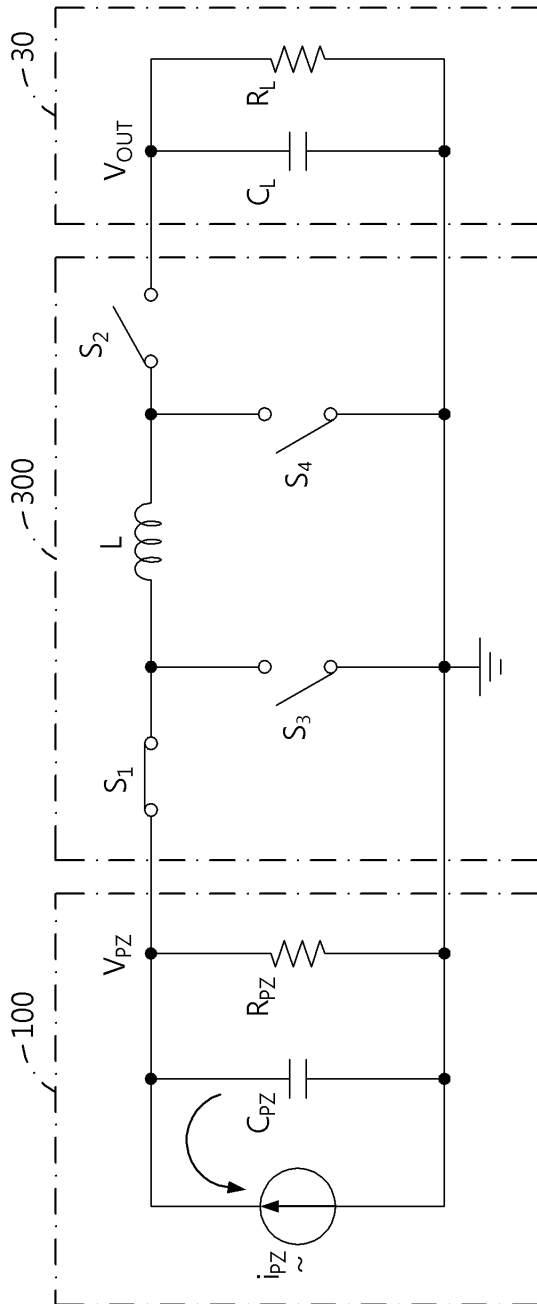
도면3b



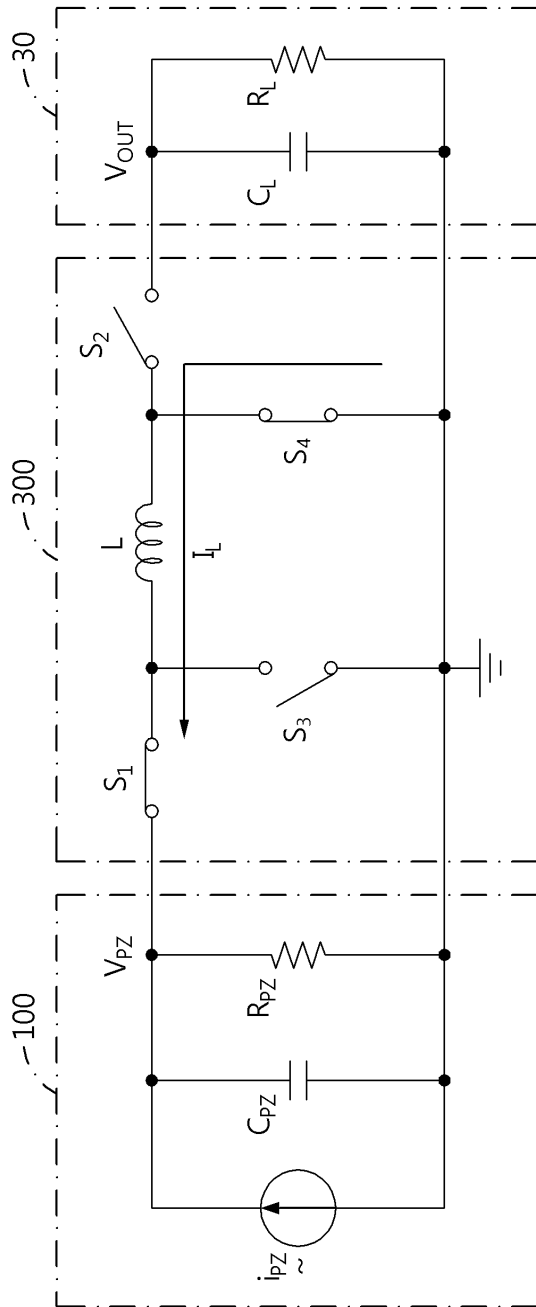
도면3c



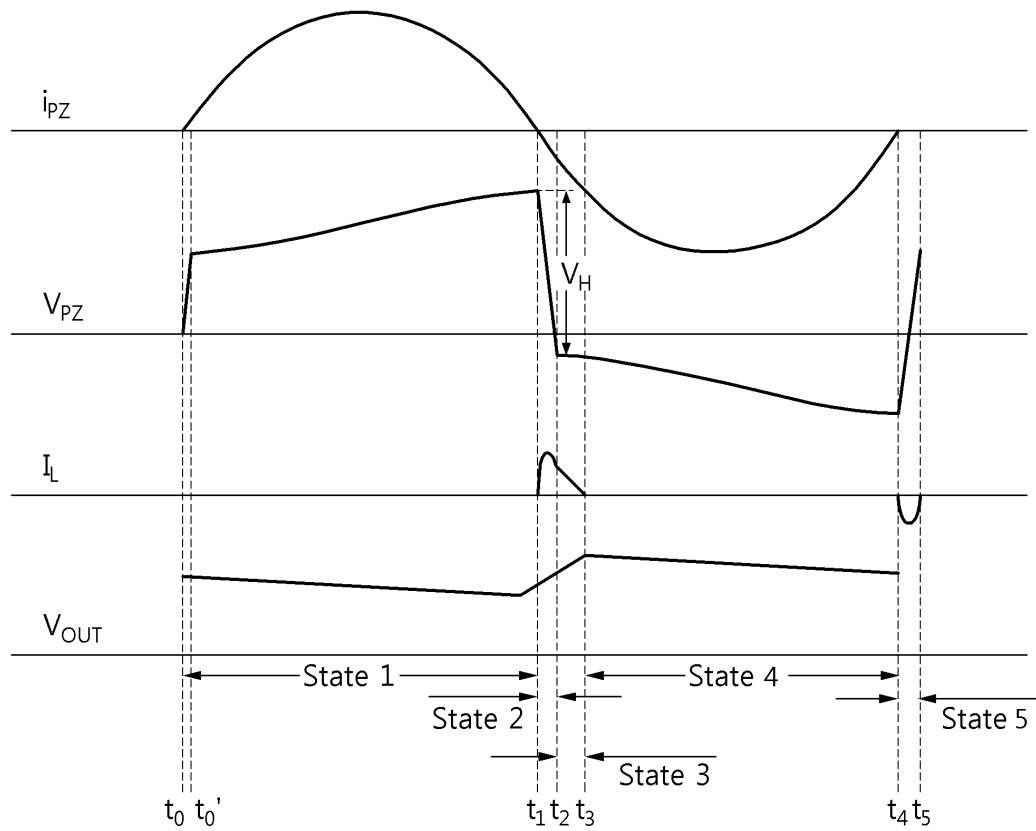
도면3d



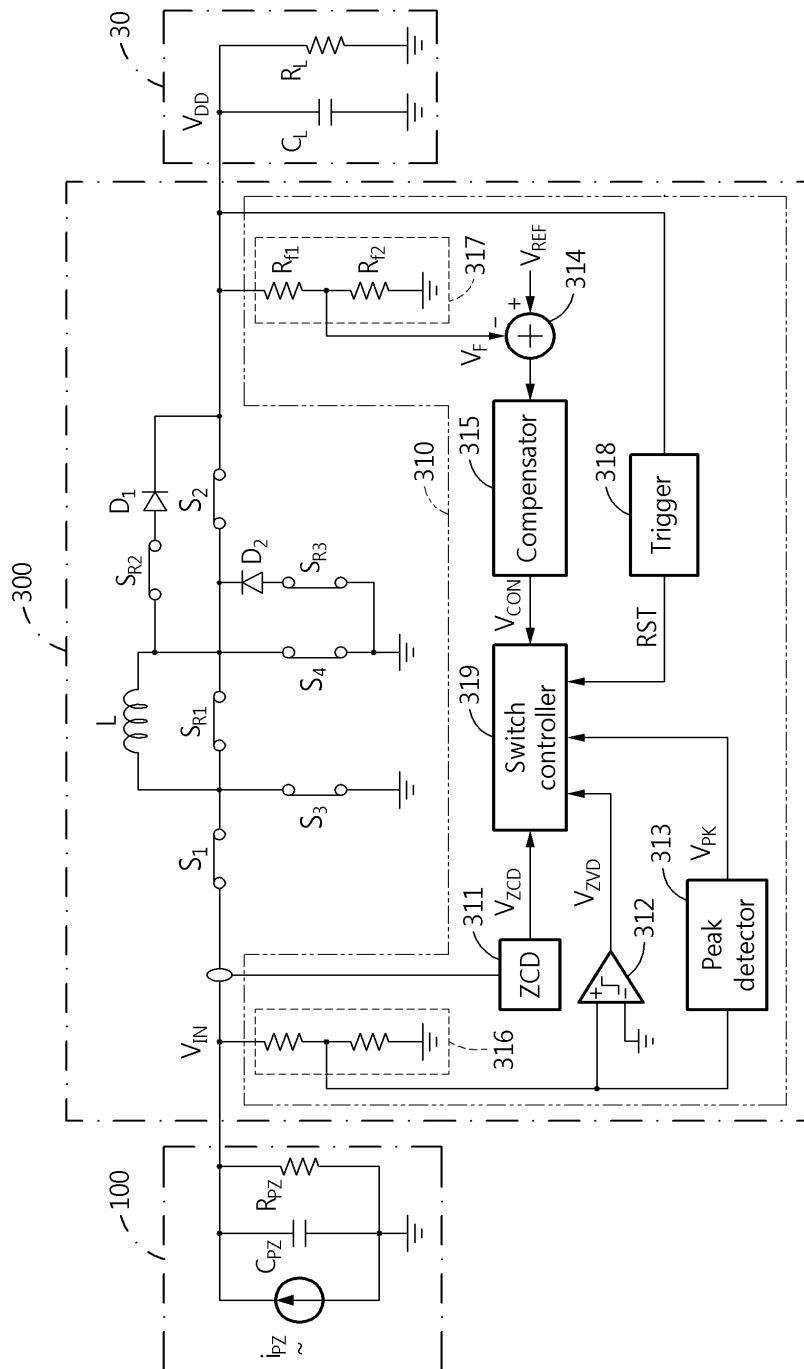
도면3e



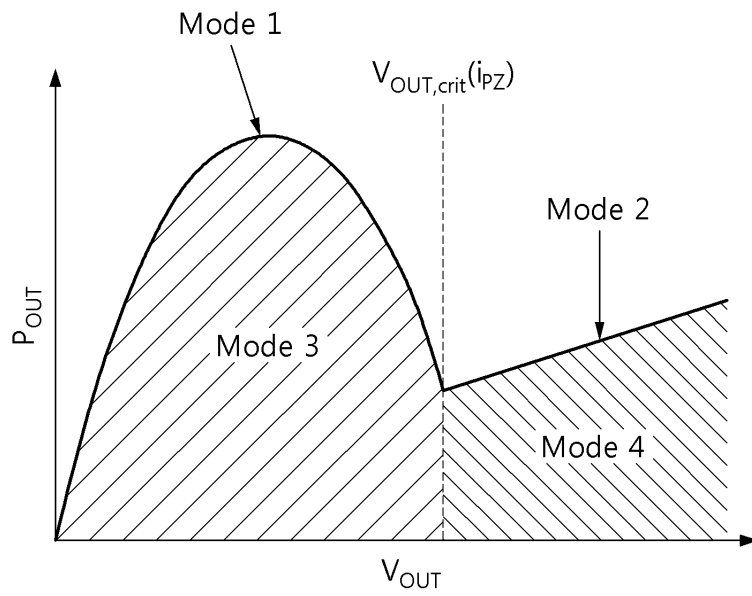
도면3f



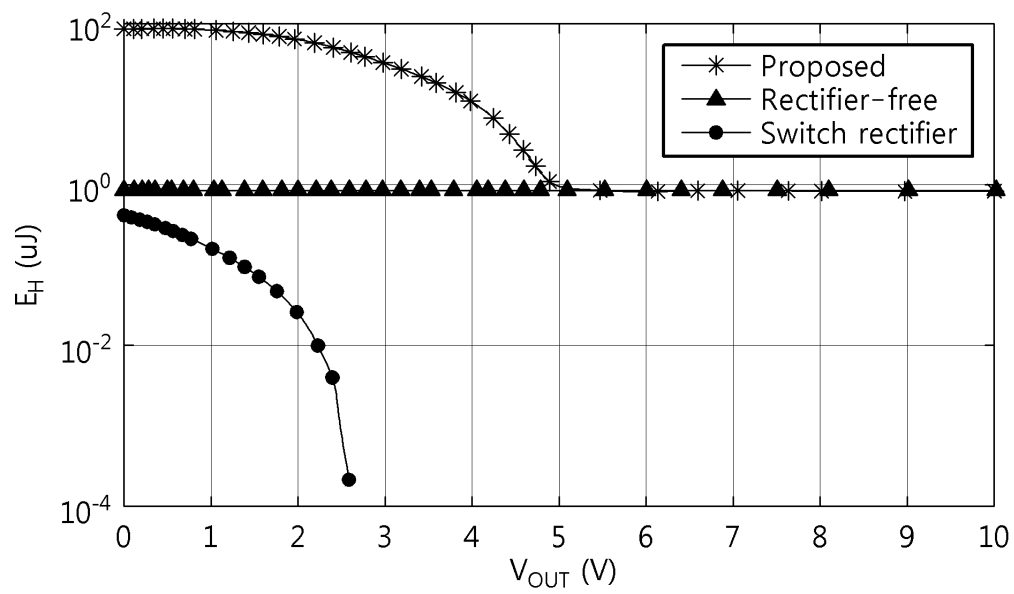
도면4



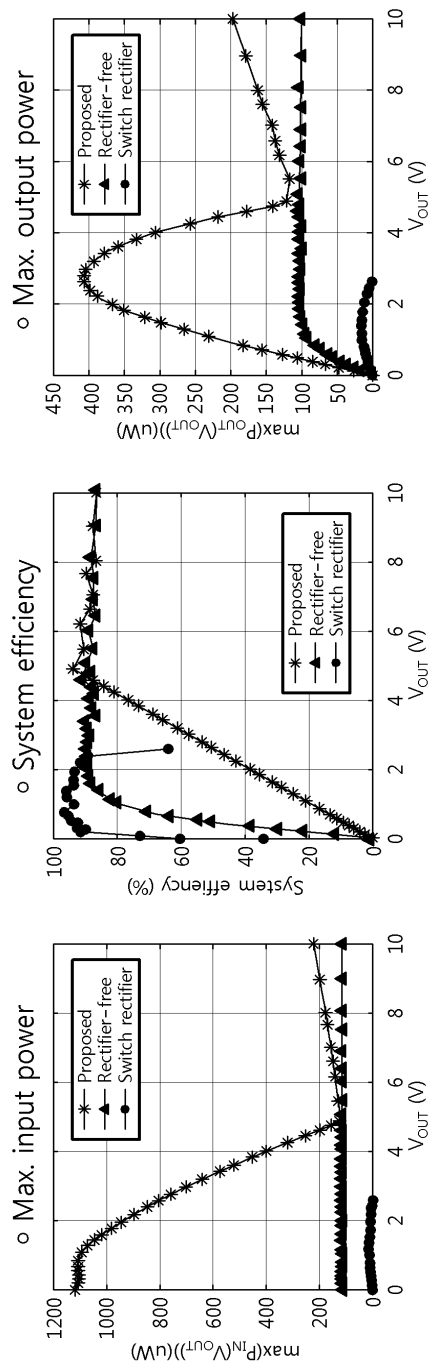
도면5



도면6



도면7



도면8

