



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0096157  
(43) 공개일자 2025년06월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02N 2/18 (2006.01) H02N 1/04 (2006.01)  
H10N 30/80 (2023.01)  
(52) CPC특허분류  
H02N 2/181 (2013.01)  
H02N 1/04 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2023-0187121  
(22) 출원일자 2023년12월20일  
심사청구일자 2023년12월20일

(71) 출원인  
국립한밭대학교 산학협력단  
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)  
(72) 발명자  
전승배  
대전광역시 유성구 죽동로 251, 305동 1803호  
(74) 대리인  
남솔잎

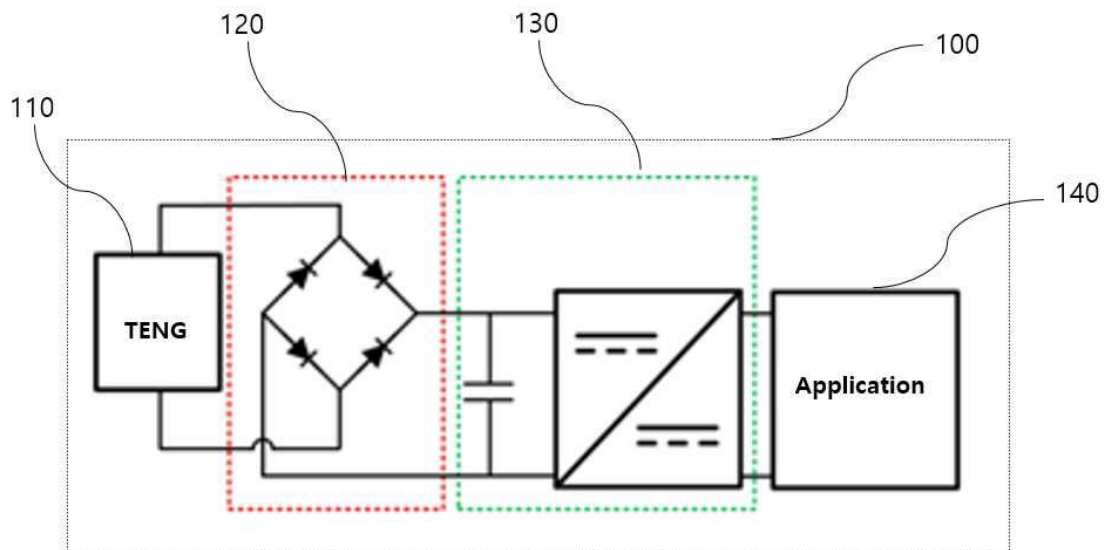
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 정전기반 에너지소자 및 전력관리회로 집적 모듈을 구비한 에너지 하베스팅 장치 및 이를 수행하기 위한 방법

(57) 요약

본 발명이 해결하고자 하는 과제는 에너지 하베스팅 시스템에 이용되는 전력관리회로를 소형화할 수 있는 방법 및 장치가 개시된다. 상술한 목적을 달성하기 위한 본 실시 예에 변환회로부를 인공신경망 구현을 위해 이용되는 LIF 소자로 대체하여, 단일 기관 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 제공할 수 있다. 변환회로부는 본 발명에 따르면 휘발성 문턱 스위칭 소자와 박막 커패시터(Cm)로 구성되는 LIF(leaky integrate-and-fire) 소자로 구성될 수 있고, 휘발성 문턱 스위칭 소자는 휘발성 멤리스터 또는 바이리스터(Biristor) 중 어느 하나일 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**H10N 30/802** (2024.05)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 과제고유번호      | 1345370812              |
| 과제번호        | 2021RIS-004             |
| 부처명         | 교육부                     |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                  |
| 연구사업명       | 지자체대학협력기반지역혁신사업         |
| 연구과제명       | (대전세종충남지역혁신플랫폼)충남대학교    |
| 기 여 율       | 50/100                  |
| 과제수행기관명     | (대전세종충남지역혁신플랫폼)충남대학교    |
| 연구기간        | 2023.04.01 ~ 2024.02.29 |

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                              |
|-------------|----------------------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711185958                                   |
| 과제번호        | 2022R1F1A1074921                             |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                                    |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                                       |
| 연구사업명       | 개인기초연구(과기정통부)                                |
| 연구과제명       | 인쇄전자 및 반도체 공정을 이용한 고효율 정전기반 에너지소자 및 전력 변환 회로 |
| 집적 모듈 개발    |                                              |
| 기 여 율       | 50/100                                       |
| 과제수행기관명     | 한밭대학교                                        |
| 연구기간        | 2022.06.01 ~ 2025.02.28                      |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

에너지 하베스팅 시스템(500)에 있어서,

외부의 에너지를 이용하여 교류 전압을 발생시키는 에너지 변환부(510);

상기 에너지 변환부(510)와 병렬로 연결되고, 상기 교류 전압을 직류 전압으로 변환하는 정류회로부(520);

상기 정류회로부(520)와 병렬로 연결되고, 상기 변환된 직류 전압을 기초로 출력 전압 및 출력 전류를 생성하는 변환회로부(540, 550); 및

상기 변환회로부(540, 550)와 직접 연결되고, 상기 출력 전압 및 출력 전류를 기초로 구동되는 전자 소자(560)를 포함하며,

상기 변환회로부(540, 550)는 커패시터(540)와 스위칭 소자(550)가 병렬 연결되고,

상기 스위칭 소자(550)는 휘발성 멤리스터(Volatile Memristor) 또는 바이리스터(Biristor) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 에너지 하베스팅 시스템(500).

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 에너지 변환부(510)는 마찰전기 나노발전기인 것을 특징으로 하는 에너지 하베스팅 시스템(500).

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 출력 전압은 상기 스위칭 소자(550)의 문턱 전압이고, 상기 출력 전류는 상기 스위칭 소자(550)의 문턱 전류인 것을 특징으로 하는 에너지 하베스팅 시스템(500).

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 커패시터(540)는 박막 커패시터이고, 면적 당 정전용량이  $1\text{nF}/\text{mm}^2$  이상인 것을 특징으로 하는 에너지 하베스팅 시스템(500).

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 정류회로부(520)와 상기 변환회로부(540, 550) 사이에 병렬로 연결된 FSCC(Fractal design-based Switched-Capacitor Converter) 회로(530)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 에너지 하베스팅 시스템(500).

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 에너지 변환부(510), 정류회로부(520), 및 변환회로부(540, 550)가 단일한 유연 기판 상에서 집적되는 것을 특징으로 하는 에너지 하베스팅 시스템(500).

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 에너지 하베스팅 시스템에 이용되는 전력관리회로를 소형화할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것으로, 전력관리회로의 변환회로를 종래에 인공신경망 구현을 위해 이용되던 LIF 소자로 대체하여, 단일 기관 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 제공하는 것이다.

## 배경 기술

[0002] 최근 사물 인터넷 (IoT) 기반의 지식 서비스가 급증함에 따라 이와 연관된 다양한 제품 및 기술이 선보여지고 있다. 특히 웨어러블 디바이스, 바이오 센서, 무전원 센서 등의 분야에서 연구개발이 활발히 이루어지고 있는 무선 충전 및 에너지 하베스팅 기술은 제품의 사용 시간을 좌우하는 핵심 요소 기술로서 관련 제품의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 회로적인 측면에서 외부 소자를 최소화하면서 전력 효율을 극대화하기 위한 회로의 고 집적화 및 고효율에 대한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 에너지 하베스팅(Harvesting)이란 기기 주변의 환경 에너지, 태양과 바람과 같은 자연 에너지를 수거하여 사용한 기술을 말하는 것으로, 버려지거나 활용되지 않은 자원에서 에너지를 수확(Harvesting) 또는 이용할 수 있는 것을 찾아 에너지를 재생산하는 것으로 주로 마이크로 와트( $\mu W$ ) 내지 밀리 와트(mW) 정도의 범위를 갖는다.

[0004] 에너지 하베스팅은 에너지를 얻기 위해 사용하는 방식에 따라 다양하게 나누어진다. 자연으로부터 에너지를 얻을 수 있는 방식에는 태양광으로부터 에너지를 얻는 솔라셀 방식, 열로부터 전기에너지를 얻는 열전소자 방식, 진동으로부터 전기에너지를 얻는 압전소자 방식, 그리고 전자기파로부터 에너지를 얻는 RF 방식 등이 있다. 그리고, 최근 물리적인 진동이나 마찰력으로 인해 발생하는 기계적 에너지를 접촉대전 (contact-electrification) 현상과 정전기 유도 현상을 통해 기전력을 발생시켜 전기적 에너지를 획득하는 정전기 기반 에너지소자, 예를 들어 마찰전기 나노발전기(Triboelectric Nanogenerator, TENG)가 소형화, 큰 출력 전력, 저비용 및 다양한 응용 가능성을 기반으로 많은 주목을 받고 있다.

[0005] 마찰전기 나노발전기는 통상적으로 상부층은 금속 물질의 전극과 유전체를 부착시켜 놓은 형태로 이루어져 있고, 하부층은 금속 전극으로만 이루어져 있다. 금속 전극이 다른 유전체에 비해 양전하가 잘 대전되는 특징을 이용하여, 상부층에 유전체 물질로는 음전하 대전체를 사용한다. 따라서 상부층과 하부층이 접촉과 분리를 통해 마찰을 반복하면 정전기 유도 현상에 의하여 상부층의 유전체에는 음전하가, 하부층의 금속에는 양전하가 대전 되도록 한다. 결과적으로 두 전극 사이에는 전하 밀도 차이가 생성되어 전극 사이를 전선으로 연결하면 전류가 흐르는 원리로 동작하게 된다. 마찰전기 나노발전기는 수백 V의 큰 전압을 생산해내는 전압원이지만 내부 임피던스를 거의 가지지 않는 다른 에너지원들과 비교했을 때 수 M $\Omega$  단위의 큰 내부임피던스를 가지기 때문에 결과적으로  $\mu W$  단위의 미소 전력을 생산한다. 따라서, 낮은 출력전류로 인해 마찰전기 나노발전기는 통상적으로 mA 수준의 전류가 필요한 무선 전자 및 전기화학적 모듈을 실시간으로 직접 구동하긴 어렵다. 대신 외부 자극에 의해 발생된 전력을 축전기 등에 일시적으로 저장하였다가 전압이 일정 수준이 넘으면 방출하는 간헐적 (intermittent) 전력변환회로와 연계하여 사용될 수 있다. 하지만 이런 복잡한 별도 변환 회로의 사용은 마찰전기 나노발전기의 장점(저비용, 소형화)을 살리지 못하는 문제점이 존재한다.

[0006] 한편, 최근 머신러닝의 발전으로 인공신경망이 이미지, 패턴 인식 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. 하지만 메모리-CPU 간 data bus가 존재하는 폰 노이만 기반 심층신경망의 경우 상기 bus가 병목으로 작용하여 연산 속도가 느리고, 많은 전력이 필요하다. 이에 생물학적 뉴런처럼 형태의 스파이크 신호를 기반으로 학습 및 추론을 수행하는 SNN(Spike Neural Network)이 활발히 연구되고 있다. 이러한 SNN의 하드웨어화를 위해 이전 층의 전류 신호를 축적한 후 임계 전압 이상이 되면 신호를 발화하는 LIF (Leaky Integration and Fire) 소자에 대한 연구가 이루어지고 있다.

[0007] 한편, 전술한 배경기술은 발명자가 본 발명의 도출을 위해 보유하고 있었거나, 본 발명의 도출 과정에서 습득한 기술 정보로서, 반드시 본 발명의 출원 전에 일반 공중에게 공개된 공지기술이라 할 수는 없다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 에너지 하베스팅 시스템에 이용되는 전력관리회로를 소형화할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 변환회로를 인공신경망 구현을 위해 이용되는 LIF 소자로 대체하여, 단일 기관 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 제공하는 것이다.

[0010] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 유연 기관 상에서 제작되는 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 제공하는 것이다.

[0011] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0012] 종래 변환회로부에 포함된 DC-DC 컨버터 및 해당 컨버터 구동을 위해 활용되는 undervoltage lockout(UVCL)나 간헐적 전력전달부는 일반적으로 요구되는 회로 구조가 복잡하여 소형화가 어렵거나 마찰전기 나노발전기와 동일 기관 상 집적공정이 어려운 문제점이 존재하므로, 변환회로부를 인공신경망 구현을 위해 이용되는 LIF 소자로 대체하여, 단일 기관 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 제공할 수 있다.

### 발명의 효과

[0013] 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 에너지 하베스팅 시스템에 이용되는 전력관리회로를 소형화하여 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 구현하는 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 에너지 하베스팅에 이용되는 변환회로부를 인공신경망 구현을 위해 이용되는 LIF 소자로 대체할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 유연 기관 상에서 제작될 수 있는 에너지하베스팅 소자와 전력관리회로가 포함된 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 제공하는 것이다.

[0016] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다. 그 외에 본 발명의 실시 예로 인하여 얻을 수 있거나 예측되는 효과에 대해서는 본 발명의 실시 예에 대한 상세한 설명에서 직접적 또는 암시적으로 개시하도록 한다. 예컨대, 본 발명의 실시 예에 따라 예측되는 다양한 효과에 대해서는 후술될 상세한 설명 내에서 개시될 것이다.

[0017] 본 발명의 다른 양상, 이점 및 두드러진 특징들은 첨부된 도면과 관련하여 본 발명의 다양한 실시 예들을 개시하는 다음의 상세한 설명으로부터 당업자에게 명백해질 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0018] 본 발명의 특정 실시 예의 양상, 특징 및 이점은 첨부된 도면들을 참조하여 후술되는 설명을 통해 보다 명확해질 것이다.

도 1은 종래의 에너지 하베스팅 시스템을 구현하기 위한 회로를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 LIF 소자의 스위칭 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 3a, 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 SCC회로 및 FSCC 회로를 설명하는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 에너지 하베스팅 시스템이 구현되는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 설명하기 위한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 실시 예들은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 특정한 실시 형태에 대해 범위를 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 실시 예의 다양한 변경(modifications), 균등물(equivalents), 및/또는 대체물(alternatives)을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.

[0020] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0021] 덧붙여, 하기 실시 예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시

예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시 예는 본 발명을 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

- [0022] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 권리범위를 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0023] 본 발명에서, "가진다," "가질 수 있다," "포함한다," 또는 "포함할 수 있다" 등의 표현은 해당 특징(예: 수치, 기능, 동작, 또는 부품 등의 구성요소)의 존재를 가리키며, 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다.
- [0024] 본 발명에서, "A 또는 B," "A 또는/및 B 중 적어도 하나," 또는 "A 또는/및 B 중 하나 또는 그 이상"등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, "A 또는 B," "A 및 B 중 적어도 하나," 또는 "A 또는 B 중 적어도 하나"는, (1) 적어도 하나의 A를 포함, (2) 적어도 하나의 B를 포함, 또는 (3) 적어도 하나의 A 및 적어도 하나의 B 모두를 포함하는 경우를 모두 지칭할 수 있다.
- [0025] 본 발명에서 사용된 "제1," "제2," "첫째," 또는 "둘째,"등의 표현들은 다양한 구성요소들을, 순서 및/또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성요소들을 한정하지 않는다.
- [0026] 어떤 구성요소(예: 제1 구성요소)가 다른 구성요소(예: 제2 구성요소)에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어(operatively or communicatively) coupled with/to)" 있다거나 "접속되어(connected to)" 있다고 언급된 때에는, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 통하여 연결될 수 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0027] 반면에, 어떤 구성요소(예: 제1 구성요소)가 다른 구성요소(예: 제2 구성요소)에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 어떤 구성요소와 다른 구성요소 사이에 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)가 존재하지 않는 것으로 이해될 수 있다.
- [0028] 본 발명에서 사용된 표현 "~하도록 구성된(또는 설정된)(configured to)"은 상황에 따라, 예를 들면, "~에 적합한(suitable for)," "~하는 능력을 가지는(having the capacity to)," "~하도록 설계된(designed to)," "~하도록 변경된(adapted to)," "~하도록 만들어진(made to)," 또는 "~를 할 수 있는(capable of)"과 바꾸어 사용될 수 있다. 용어 "~하도록 구성된(또는 설정된)"은 하드웨어적으로 "특별히 설계된(specifically designed to)" 것만을 반드시 의미하지 않을 수 있다.
- [0029] 대신, 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다. 예를 들면, 문구 "A, B, 및 C를 수행하도록 구성된(또는 설정된) 프로세서"는 해당 동작을 수행하기 위한 전용 프로세서(예: 임베디드 프로세서), 또는 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들을 실행함으로써, 해당 동작들을 수행할 수 있는 범용 프로세서(generic-purpose processor)(예: CPU 또는 application processor)를 의미할 수 있다.
- [0030] 실시 예에 있어서 '모듈' 혹은 '부'는 적어도 하나의 기능이나 동작을 수행하며, 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다. 또한, 복수의 '모듈' 혹은 복수의 '부'는 특정한 하드웨어로 구현될 필요가 있는 '모듈' 혹은 '부'를 제외하고는 적어도 하나의 모듈로 일체화되어 적어도 하나의 프로세서로 구현될 수 있다.
- [0031] 한편, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.
- [0032] 이하, 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 정의한다.
- [0033] 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)이란 빛, 열, 진동 등 주변의 버려지는 에너지를 다시 재수확하여 전기 에너지로 변환하여 사용하는 기술로서, 외부의 전력 공급 없이 태양광 소자(photovoltaic or solar), 압전 소자(piezoelectric), 열에너지(thermal) 변환기 등의 다양한 에너지원을 전기 에너지로 변환하여 전력을 공급하는 기술을 의미한다.
- [0034] 에너지 하베스팅 시스템이란 상기 기재한 빛, 열, 진동과 같은 다양한 방식으로 에너지를 얻는 에너지 변환부, 전력관리를 위한 전력관리회로(Power Management Circuit)로 구성되는 시스템 또는 그러한 시스템을 구현하기 위한 회로들이 집적된 회로를 의미하며, 추가적으로 전력을 저장하기 위한 2차 전지가 포함될 수 있다. 전력관리회로는 교류를 직류로 변환하는 정류기를 포함하는 정류회로를 비롯하여, DC-DC 컨버터, 커패시터, 스위치

등을 포함하는 변환회로부를 포함할 수 있다.

- [0035] IC 등의 전자기기는 각각 동작 가능한 전압 범위가 달라서 각각에 적합한 전압을 생성할 필요가 있으므로, 컨버터는 이러한 필요를 충족시키기 위해 DC 전압을 변환하는 장치를 말한다. 입력 전압 대비 출력 전압을 낮추기 위한 강압 컨버터(Buck 컨버터), 입력 전압 대비 출력 전압을 높이기 위한 승압 컨버터(Boost 컨버터), 또는 위와 같은 강압 컨버터와 승압 컨버터를 결합하여 두 기능을 모두 수행하는 승강압 컨버터(Buck-Boost 컨버터)일 수도 있다. 또한, 상기 컨버터 구동을 위해 전하를 일정수준 모았다가 간헐적으로 전달하는 undervoltage lockout (UVLO)나 기타 간헐적 전력전달부가 포함될 수 있다. 또는, 상기 강압 컨버터, 승압 컨버터 혹은 승강압 컨버터 없이 간헐적 전력전달부만으로 구성되어, 축적한 전류를 바로 부하로 전달하는 구조일 수 있다.
- [0036] LIF(Leaky Intergrate and Fire) 소자는 신경 세포의 원리를 이용한 뉴로모픽 시스템(Neuromorphic System)을 구현할 수 있는 소자를 말한다. 뉴로모픽 시스템은 인간의 뇌를 구성하는 뉴런을 복수의 소자를 이용하여 구현함으로써 뇌가 데이터를 처리하는 것을 모방한 시스템을 말한다. 즉, 뉴런은 뉴런의 시냅스를 통하여 다른 뉴런과 연결되고, 시냅스를 통하여 다른 뉴런으로부터 데이터를 수신할 수 있다. 이때, 뉴런은 수신된 데이터를 축적 및 통합하고 임계값 이상일 경우 이를 발화하여 출력한다. 즉, 뉴런은 데이터의 축적 및 발화(integrate and fire) 기능을 한다. LIF 소자는 이러한 뉴런의 작동 방식을 구현하기 위한 소자로서, 특정 전압 이상이 되면, 저 저항상태가 되어 고 전류를 방전하며, 특정 전압 이하가 되면 고 저항 상태로 전환하는 특징을 갖는 소자를 말한다.
- [0037] 이하에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명에 따른 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.
- [0038] 도 1은 종래의 에너지 하베스팅 시스템(100)을 구현하기 위한 회로를 설명하기 위한 도면이다.
- [0039] 도 1을 참조하면, 종래의 에너지 하베스팅 시스템(100)은 에너지 변환부(110), 정류회로부(120), 변환회로부(130)로 구성될 수 있다.
- [0040] 에너지 변환부(110)는 금속 등이 고에너지의 태양광을 흡수하면 전자를 내보내는 현상을 이용하는 광전 변환, 기계적으로 압력을 가하면 양전하, 음전하가 나뉘는 유전분극 현상을 이용한 것으로 압력을 주면 표면의 전하 밀도가 변하면서 전기가 흐르는 것을 이용한 압전 변환, 전자기파를 수집하는 전자기파 변환, 또는 온도 차이를 전위 차이로 변환하는 제백효과(Seebeck Effect)에 기반한 열전 변환, 마찰전기 나노발전기(Triboelectric Nanogenerator, TENG) 등을 이용하여 전류를 발생시키는 장치로 구성될 수 있다.
- [0041] 정류회로부(120)는 펄스성의 AC 전압 전류 파형을 생성하는 마찰전기 나노발전기의 전압 파형을 DC 형태로 바꾸어주기 위한 AC-DC 정류회로를 포함할 수 있다.
- [0042] 변환회로부(130)는 정류기를 거친 입력 전압을 특정 출력 전압으로 변환시키기 위한 DC-DC 컨버터, 커패시터, 스위치 및 간헐적 전력전달부 등을 포함할 수 있다. DC-DC 컨버터는 일반적으로 스위치, 다이오드, 인덕터, 커패시터, 부하 등으로 구성될 수 있으며, 상기 전력전달부에 의해 스위치에 가해지는 전압이 미리 설정된 전압(turn-on voltage) 이상인 경우 ON 상태가 되며, 미리 설정된 전압(turn-off voltage) 이하인 경우 OFF 상태가 되어 출력 전압이 제어될 수 있다. 이러한 스위치는 전력반도체 스위치와 같이 자동적으로 제어 및 동작하는 스위치일 수 있으며, 수동적으로 작동하는 기계식 스위치일 수도 있다. 또한, 변환회로부(130)는 정류회로부(120)와 변환회로부(130) 사이에 DC-DC 컨버터의 입력 전압의 리플을 조절해주는 역할을 수행하는 커패시터를 포함할 수 있다. 또는, 강압컨버터, 승압컨버터 혹은 승강압컨버터 없이 간헐적 전력전달부만으로 구성되어 축적한 전류를 바로 부하로 전달하는 구조일 수 있다.
- [0043] DC-DC 컨버터는 일반적으로 요구되는 회로 구조가 복잡하고, 인덕터로 인해 회로의 소형화에 있어 한계가 명확하므로, DC-DC 컨버터를 포함하는 종래의 변환회로부(130)는 에너지 변환부(110) 또는 정류회로부(120)와 동일 기판 내에서 집적될 수 없는 문제점이 존재한다. 또한, 변환회로부가 종래의 UVLO 혹은 간헐적 전력전달부만으로 구성되더라도 에너지 하베스팅 소자와 동일 기판 상 집적되기 어려운 문제점이 존재한다.
- [0044] 에너지 하베스팅 시스템(100)은 배터리부를 추가로 포함할 수 있으며, 배터리부는 변환회로부를 통해 특정 애플리케이션(140)을 구동하기 위해 에너지를 저장할 수 있는 캐패시터를 의미하고, 2차 전지 등으로 구성될 수 있다. 또한, 특정 애플리케이션의 종류에 따라 배터리부가 구비되지 않을 수도 있다.
- [0045] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 LIF 소자의 스위칭 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0046] SNN(Spike Neural Network)을 구현하기 위한 하드웨어의 구성 요소들 중에서 이전 시냅스 회로로부터 전류 신호

를 수신하고 수신된 전류 신호가 일정 수준 이상이 되면 발화해 다음 시냅스 회로에 전압 신호를 전달하는 소자를 LIF(leaky integrate-and-fire) 소자라 한다.

[0047] LIF 소자는 휘발성 문턱 스위칭 소자(Volatile Threshold Switching Device)와 박막 커패시터(Membrane Capacitor, Cm)로 구성될 수 있다. 휘발성 문턱 스위칭 소자(이하 ‘스위칭 소자’라 한다.)는 휘발성 메모리스터(Volatile Memristor) 또는 Si 바이리스터(biristor) 중 어느 하나일 수 있다. 휘발성 메모리스터는 NbOx 기반 부도체-금속 전이 (Insulator-Metal Transition, IMT)를 이용한 소자, 붕소(B)-텔루륨(Te) 기반 Ovonic Transition을 이용한 소자, 또는 Ag 이온의 필라멘트 형성 및 마이그레이션 원리를 기반으로 한 소자(이하 ‘Ag 이온 기반 소자’라 한다)일 수 있다. 일반적으로 메모리스터는 기록된 저항값이 또 다른 전기 신호가 입력되지 않는 한 변하지 않고 유지되는 비휘발성의 성질을 띠지만, 활성 금속 이온(예를 들어, Ag 등)의 필라멘트 형성 및 이동에 따른 이온 효과, Mott 절연체(예를 들어, VO<sub>2</sub>, NbO<sub>2</sub> 등)의 온도 변화에 따른 열 효과 등에 따라 휘발성의 성질을 띌 수 있다. 또한, TiO<sub>2</sub>, SrTiO<sub>3</sub>, NiO, CuO, ZnO, MnOx, HfOx, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ti<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub>/TiOy, TaOx/TiO<sub>2-x</sub> 등의 전이 금속 산화물 박막 기반 메모리스터(Memristor)도 스위칭 소자에 해당할 수 있다.

[0048] 상기 스위칭 소자는 공통적으로 초기엔 고저항상태를 유지하고, 외부 전류가 인가되었을 시 전하는 Cm에 축적되며 Cm에 축적된 전압이 문턱 전압(Vth)을 상회하게 되면 스위칭 소자는 저저항상태로 전환되고 Cm에 축적된 전하를 방전시키는 특성을 갖는다. 또한, 방전 중 전압이 홀드전압(Vhold) 이하로 떨어지게 되면 스위칭 소자는 다시 고저항상태로 전환되며 방전을 멈추는 특성을 갖는다.

[0049] 종래의 연구는 저전력 인공지능망 구현을 위해 낮은 문턱 전압(Vth) 및 낮은 커패시터 용량(Cm)을 구현하는 것을 목표로 수행되었다. 그러나, 본 발명에서는 구동하고자 하는 애플리케이션의 요구 전압 및 전류를 만족시키기 위해 스위칭 소자의 높은 문턱 전압(Vth) 및 높은 커패시터 용량(Cm)이 요구되므로 종래의 연구와 비교할 때 목적 및 효과에 있어 차이점이 존재한다.

[0050] 구체적으로, 상기 휘발성 메모리스터는 Ag 이온 기반 소자일 수 있다. 일 예로 도 2에 개시된 Ag 이온 기반 소자의 문턱 전압(Vth)은 약 0.5V이고, 홀드 전압은 약 0.3V이며, 문턱 전류(Ith)는 10nA이다. Ag 이온 기반 소자는 유전막의 두께, 종류 및 공정 조건 등에 따라 문턱 전압(Vth) 및 문턱 전류(Ith)가 결정된다. 따라서, 상, 하부 Ag 전극은 인쇄전자 기술을 기반으로 형성하고, 유전막은 산화티타늄(TiO<sub>2</sub>), 산화하프늄(HfO<sub>2</sub>) 등의 무기 박막 층막 혹은 나피온(Nafion) 등을 이용한 인쇄전자 공정으로 형성될 수 있다. 이 경우, 구동하고자 하는 특정 애플리케이션의 동작을 위해 홀드 전압은 0 V 이상, 문턱 전압은 홀드 전압 보다 높은 전압을 갖도록 설정할 수 있으며, 문턱 전류는 1mA 내외로 설정할 수 있다.

[0051] 도 3a, 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 SCC회로 및 FSCC 회로를 설명하는 도면이다.

[0052] 도 3a는 커패시터와 스위치로 구성되는 SCC(Switched-Capacitor Converter)를 도시한 도면이며, 도 3b는 일 실시예에 따라 SCC를 2개 이상 직/병렬로 배치한 FSCC(Fractal Switched-Capacitor Converter) 회로이다.

[0053] 마찰전기 나노발전기는 수 kV의 고전압을 쉽게 생성할 수 있지만 낮은 전류(~μA), 낮은 전하 밀도(~100 μC/m<sup>2</sup>) 및 높은 임피던스(1MΩ ~100Ω)로 인해 에너지 활용 효율이 매우 낮다. 따라서 마찰전기 나노발전기에서 발생하는 에너지를 최대한 활용하기 위해서는 고전압/낮은 전하(Q)를 저전압/높은 전하(Q)로 변환하는 기능을 수행하는 회로가 요구된다.

[0054] 커패시터와 스위치로 구성되는 SCC(Switched-Capacitor Converter)는 직렬 연결된 커패시터를 충전하고 충전된 커패시터에서 병렬로 방전하여 고전압/낮은 전하(Q)를 저전압/높은 전하(Q)로 변환하는 기능을 수행할 수 있다. FSCC(Fractal Switched-Capacitor Converter) 회로는 이러한 SCC를 2개 이상 직/병렬로 배치하여 전달 효율을 향상시킨 회로를 의미한다.

[0055] Inductor가 필요해 유연기관 상 집적공정이 어려운 승강압 컨버터와 달리 FSCC 회로에 이용되는 다이오드 및 커패시터는 인쇄전자 기술을 이용하여 저온, 유연기관 상 공정이 가능한 유연 소재 기반으로 구성될 수 있다. 또한, FSCC 회로의 전력 전달 효율은 80% 이상일 수 있다.

[0056] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 에너지 하베스팅 시스템이 구현되는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0057] 에너지 변환부의 에너지 변환 장치(마찰전기 나노발전기 등)에 의해 전압이 발생할 수 있다(S410).

[0058] 발생된 전압이 교류 전압인 경우, 교류 전압은 정류회로부를 거쳐 직류 전압으로 변환될 수 있다(S420). 만약, 에너지 변환 장치에 의해 직류 전압이 발생하는 경우 교류 전압을 직류 전압으로 변환하는 과정(S420)은 생략될

수 있다.

- [0059] 변환된 직류 전압은 FSCC 회로를 거쳐 강압될 수 있다(S425). 해당 과정(S425)은 고전압의 입력 전압을 저전압의 출력 전압으로 강압시키면서 낮은 전하(Q)를 높은 전하(Q)로 변환하기 위한 목적으로 수행될 수 있으며, 생략될 수도 있다.
- [0060] 직류 전압이 병렬로 연결된 커패시터에 가해지고 커패시터에 전하가 저장되면서, 커패시터 전압( $V_{cm}$ )이 커패시터와 병렬로 연결되어 있는 스위칭 소자의 문턱 전압( $V_{th}$ )에 도달할 때까지 증가한다(S430). 스위칭 소자에 가해지는 입력 전압이 문턱 전압에 도달하기 전에는 스위칭 소자는 OFF 상태이고, 스위칭 소자의 저항값은 전류가 거의 흐르지 않을 정도로 높으며, 해당 상태에서의 누설 전류값 10nA이하 일 수 있다. 해당 과정을 충전이라고 한다.
- [0061] 커패시터 전압( $V_{cm}$ )이 스위칭 소자의 문턱 전압( $V_{th}$ )보다 높은 경우, 스위칭 소자의 저항이 낮아지고 전하가 방전되면서 전류가 흐르고(스위칭 소자는 ON 상태), 스위칭 소자와 직접적으로 연결된 애플리케이션을 동작 시킬 수 있다(S440). 이 경우, 문턱 전류(발화 전류)는 1mA 이상일 수 있다. 스위칭 소자와 직접적으로 연결된 애플리케이션 외에 배터리부가 따로 구비될 수도 있다. 해당 과정을 방전이라고 한다.
- [0062] 방전이 진행됨에 따라, 커패시터 전압( $V_{cm}$ )이 스위칭 소자의 홀드 전압( $V_{hold}$ ) 이하로 떨어지면, 다시 스위칭 소자의 저항은 높아지고(OFF 상태), 충전이 다시 진행된다.
- [0063] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 에너지 하베스팅 시스템 집적 회로를 설명하기 위한 도면이다.
- [0064] 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 하베스팅 시스템(500) 집적 회로는 에너지 변환부(510), 정류회로부(520), 변환회로부(540, 550)를 포함하며, 추가적으로 FSCC 회로(530) 및 구동 대상 전자 소자(애플리케이션)(560)를 포함할 수 있다.
- [0065] 에너지 변환부(510)는 외부의 에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치로서 그 종류에 구애받지 않으나, 이하 일례로서 마찰전기 나노발전기를 기반으로 서술한다. 마찰전기 나노발전기는 마찰전기 대전현상과 정전기적 유도현상을 구동원리로 하는데, 여기서 마찰전기 대전현상이란 서로 다른 물질들이 접촉되고 분리될 때 일어나는 전기적 대전현상을 일컫는다. 마찰전기 나노발전기는 대전 방식에 따라 contact-separation mode, sliding mode, single-electrode mode, 또는 free-standing mode로 구분될 수 있으며, 본 발명에서는 각각의 대전 방식이 달라지더라도 발명의 효과가 달라지지 않는다.
- [0066] 정류회로부(520)는 펄스성의 AC 전압 전류 파형을 생성하는 마찰전기 나노발전기의 전압 파형을 DC 형태로 변형하기 위한 정류회로를 포함할 수 있다. 정류회로는 다이오드를 브릿지 형태의 회로로 구성함으로써 입력전압의 부전압분을 정전압으로 변환 정류하여 직류로 변환하는 전파 정류회로, 또는 다이오드 1개로 입력 부전압분을 소거하여, 직류로 변환하는 반파 정류회로 중 어느 하나일 수 있다. 또한, 정류회로의 다이오드는 인쇄전자 기술을 이용하여 저온, 유연기판 상 공정이 가능한 PEDOT:PSS 혹은 무기 박막 등 유연 소재 기반으로 구성될 수 있다.
- [0067] 변환회로부(540, 550)는 본 발명에 따르면 LIF(leaky integrate-and-fire) 소자로 구성될 수 있다. LIF 소자는 휘발성 문턱 스위칭 소자(550)와 박막 커패시터(540)( $C_m$ )로 구성될 수 있다. 휘발성 문턱 스위칭 소자(550)는 휘발성 메모리스터(Volatile Memristor) 또는 바이리스터(Biristor) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0068] 또한, 박막 커패시터(540)( $C_m$ )는 이산화 타이타늄( $TiO_2$ ), 산화하프늄( $HfO_2$ ) 등의 무기 박막 증착 및 인쇄전자 기술을 기반으로 면적 당 정전용량이  $1nF/mm^2$  이상일 수 있다.
- [0069] 스위칭 소자(550)는 Ag 이온 기반 소자 등 휘발성 메모리스터 외에 0 V 이상의 홀드 전압 및 홀드 전압 이상의 문턱 전압, 1mA 내외의 문턱 전류를 갖는 다른 스위칭 소자로 대체될 수 있으며, 구동 대상 전자 소자(560)의 종류에 따라 상기 요구되는 문턱 전압 및 문턱 전류의 값은 달라질 수 있다. 또한, 에너지 하베스팅 시스템(500)에 배터리부가 추가로 포함되어 있는 경우, 상기 요구되는 문턱 전압 및 문턱 전류의 값은 달라질 수 있다. 상기 스위칭 소자(550) 및 박막 커패시터(540)( $C_m$ )는 유연 기판 상에서 공정이 가능한 소재일 수 있다.
- [0070] 에너지 하베스팅 시스템(500)은 정류회로부(520)와 변환회로부(540, 550) 사이에 전달효율 상승을 위해 FSCC(Fractal design-based Switched-Capacitor Converter) 회로(530)를 더 포함할 수 있다.
- [0071] 에너지 하베스팅 시스템(500)은 배터리부를 추가로 포함할 수 있으며, 배터리부는 변환회로부(540, 550)를 통해 구동 대상 전자 소자(560)를 구동하기 위해 에너지를 저장할 수 있는 커패시터를 의미하고, 2차 전지 등으로 구

성될 수 있다. 또한, 구동 대상 전자 소자(560)의 종류에 따라 배터리부가 구비되지 않을 수도 있다.

[0072] 에너지 하베스팅 시스템(500)을 구성하는 에너지 변환부(510), 정류회로부(520), 변환회로부(540, 550)는 단일 기판 상에 집적될 수 있고, FSCC 회로(530)가 상기 동일한 단일 기판 상에 추가 직접 될 수 있다. 또한, 상기 단일 기판은 유연 기판일 수 있다.

[0073] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특징의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 개시에 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안 될 것이다.

## 부호의 설명

[0074] 500: 에너지 하베스팅 시스템

510: 에너지 변환부

520: 정류회로부

530: FSCC 회로

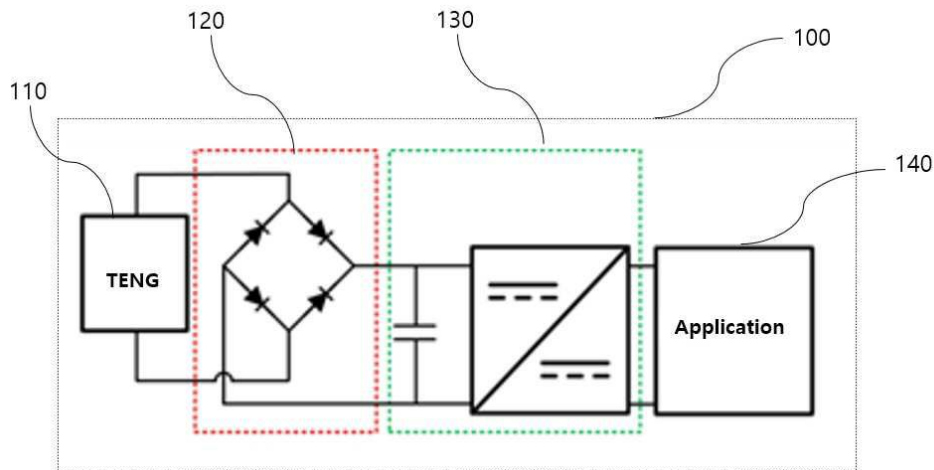
540: 커패시터

550: 스위칭 소자

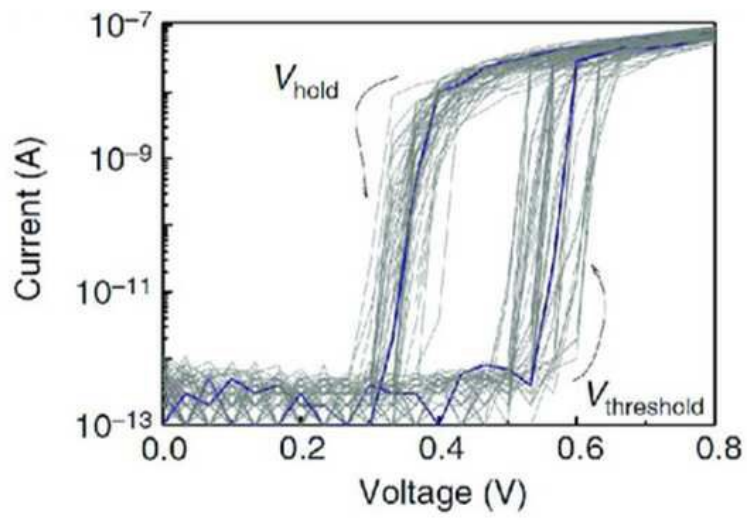
560: 구동 대상 전자 소자

## 도면

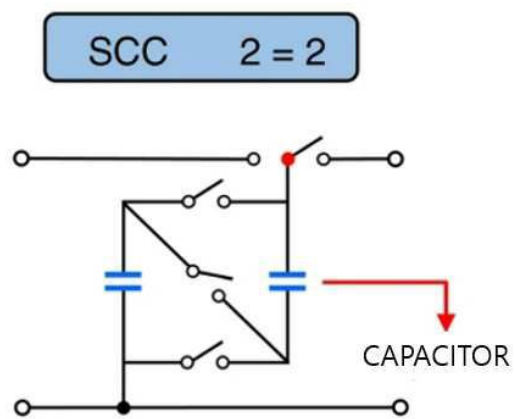
### 도면1



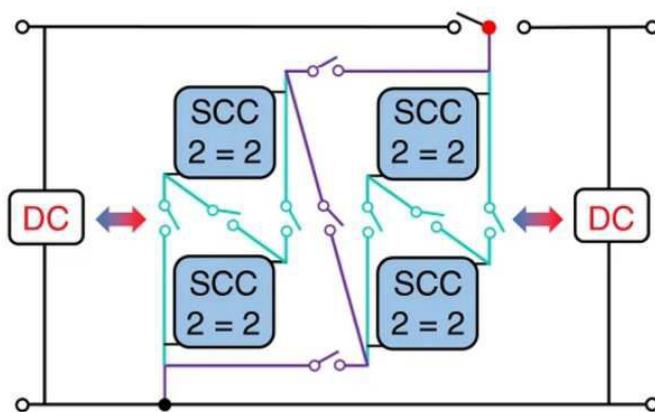
도면2



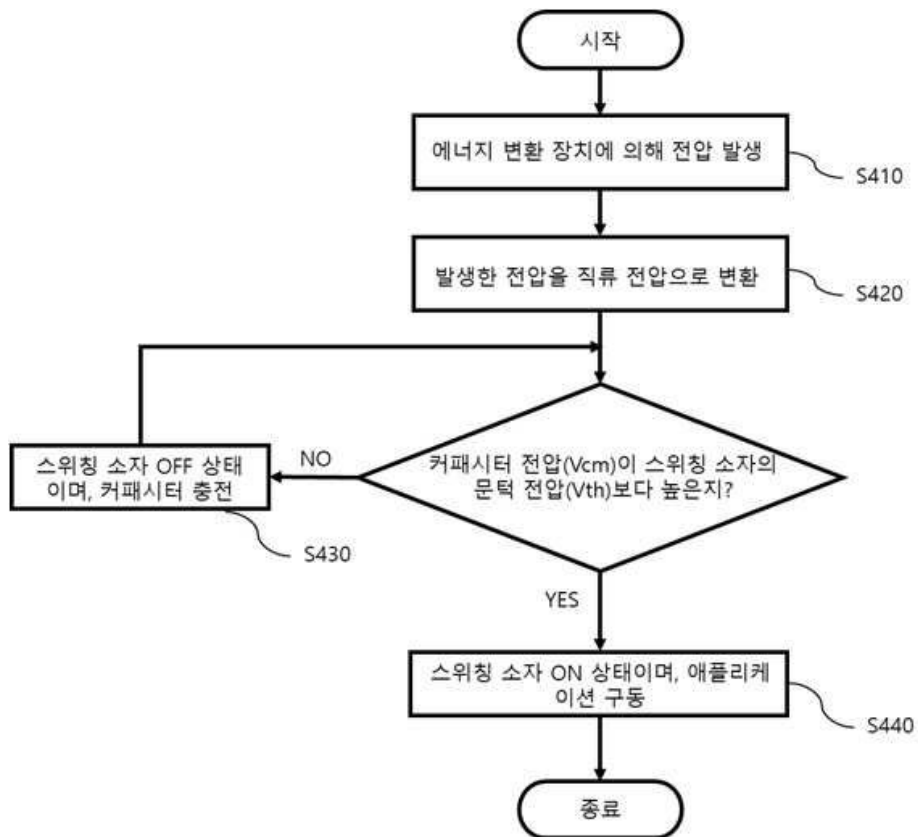
도면3a



도면3b



도면4



도면5

