



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월15일
(11) 등록번호 10-2166323
(24) 등록일자 2020년10월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02S 50/00 (2014.01) G01R 19/02 (2006.01)
G01R 19/10 (2006.01) G01R 19/252 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H02S 50/00 (2013.01)
G01R 19/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-0016939
- (22) 출원일자 2020년02월12일
심사청구일자 2020년02월12일
- (56) 선행기술조사문헌
JP2010161919 A*
KR101550588 B1*
KR101941184 B1*
KR102046975 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
지투파워 (주)
경기도 화성시 양감면 초록로 868-12
- (72) 발명자
김영일
경기도 용인시 수지구 만현로 127, 807동 802호
(상현동, 만현마을8단지 두산위브아파트)
- (74) 대리인
유민규

전체 청구항 수 : 총 7 항

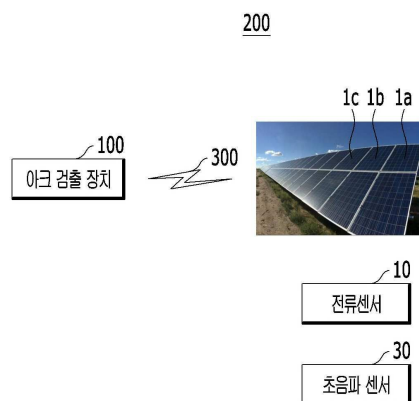
심사관 : 전병식

(54) 발명의 명칭 태양광발전시스템의 웨이블릿 변환에 의한 아크 검출 장치 및 방법

(57) 요약

태양광발전시스템 내 아크 검출 장치에 관한 것이며, 아크 검출 장치는 태양광발전시스템 내 PV 모듈들과 접속반 사이에 배치된 전류센서를 통해 측정된 전기신호를 획득하는 획득부; 및 상기 획득된 전기신호를 웨이블릿 변환하여 분석함으로써 상기 태양광발전시스템 내 아크의 발생 여부를 검출하고, 아크가 발생한 것으로 검출되면 상기 PV 모듈들에서 상기 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행하는 검출제어부를 포함하고, 상기 검출제어부는, 상기 획득된 전기신호의 구간 중 기설정된 조건을 충족하는 아크 의심 구간을 식별하고, 식별된 상기 아크 의심 구간에 대하여 상기 웨이블릿 변환으로서 이산 웨이블릿 변환을 적용하여 상기 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01R 19/10 (2013.01)

G01R 19/252 (2013.01)

G01R 31/12 (2013.01)

Y02E 10/50 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

태양광발전시스템 내 아크 검출 장치에 있어서,

태양광발전시스템 내 PV 모듈들과 접속반 사이에 배치된 전류센서를 통해 측정된 전기신호를 획득하는 획득부;
및

상기 획득된 전기신호를 웨이블릿 변환하여 분석함으로써 상기 태양광발전시스템 내 아크의 발생 여부를 검출하고, 아크가 발생한 것으로 검출되면 상기 PV 모듈들에서 상기 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행하는 검출제어부,

를 포함하고,

상기 검출제어부는,

상기 획득된 전기신호의 구간 중 기설정된 조건을 충족하는 아크 의심 구간을 식별하고, 식별된 상기 아크 의심 구간에 대하여 상기 웨이블릿 변환으로서 이산 웨이블릿 변환을 적용하여 상기 아크의 발생 여부를 검출하고,

상기 아크 의심 구간은, 상기 획득된 전기신호의 구간 중 미리 설정된 시간 구간에서의 기울기가 제1 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점부터 미리 설정된 시간 구간에서의 기울기가 제2 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점까지 속한 구간이고,

상기 제1 임계 기울기 및 상기 제2 임계 기울기는 절대값 크기가 같되, 부호가 반대이며,

상기 검출제어부는,

상기 아크 의심 구간을 복수의 타이머 구간으로 분할하고,

상기 이산 웨이블릿 변환의 적용을 기반으로, 상기 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 카운트하여 상기 복수의 타이머 구간 중 두번째 타이머 구간마다 1차 레벨 DWT 계수를 계산하고 상기 복수의 타이머 구간 중 네번째 타이머 구간마다 2차 레벨 DWT 계수를 계산하며,

상기 복수의 타이머 구간 중 마지막번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어지면, 상기 1차 레벨 DWT 계수와 상기 2차 레벨 DWT 계수를 이용하여 RMS_{norm} 값을 산출하고, 상기 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면 상기 아크 의심 구간을 아크 발생 후보 구간으로 식별하는 것인, 아크 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 검출제어부는,

상기 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 특성에 따라 복수의 모 웨이블릿 유형 중 어느 하나의 모 웨이블릿을 선택적으로 선택하고, 상기 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 이용해 상기 이산 웨이블릿 변환을 수행하되,

상기 어느 하나의 모 웨이블릿은, 상기 복수의 모 웨이블릿 유형 중에서 식별된 상기 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 모양과의 유사도가 미리 설정된 유사도 값 이상에 속한 후보 모 웨이블릿 중 어느 하나로 선택되는 것인, 아크 검출 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 검출제어부는,

상기 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호를 상기 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 사용하여 기 설정된 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨까지 분해하는 상기 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써 상기 아크의 발생 여부를

검출하는 것인, 아크 검출 장치.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 검출제어부는,

상기 인덱스가 1씩 증가될 때마다 각 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값과 전류 최소값을 업데이트하고,

상기 마지막번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어졌을 때 상기 마지막번째 타이머 구간에서의 전류 최대값과 전류 최소값 간의 차이에 해당하는 전류 차이값을 산출하며,

상기 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면서, 상기 산출된 전류 차이값이 미리 설정된 전류 임계값을 초과하면, 상기 아크 발생 후보 구간에서 아크가 발생한 것으로 인식하여 상기 태양광발전시스템 내에 아크가 발생한 것으로 검출하는 것인, 아크 검출 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 접속반 내 배치된 적외선 센서를 이용하여 측정된 접속반 내부의 단자 접속부에 대한 적외선 신호를 획득하는 적외선 획득부,

를 더 포함하고,

상기 검출제어부는,

상기 획득된 적외선 신호의 분석을 기반으로 검출된 상기 단자 접속부의 온도에 따라 상기 전류센서에 의한 전기신호의 측정 시간 간격이 조정되도록 제어하는 것인, 아크 검출 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 검출제어부는,

상기 단자 접속부의 온도가 임계 온도 이상인 경우, 상기 전류센서에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 현재 설정값인 제1 값보다 짧은 제2 값으로 변경되도록 제어하는 것인, 아크 검출 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 접속반 내에 배치된 초음파 센서를 이용하여 측정된 상기 접속반 내에서 발생하는 초음파를 획득하는 초음파 획득부,

를 더 포함하고,

상기 검출제어부는,

상기 획득된 초음파의 진압이 미리 설정된 진압 범위에 속하는 것으로 판단되면, 상기 태양광발전시스템 내 아크가 발생한 것으로 검출하는 것인, 아크 검출 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본원은 태양광발전시스템의 아크 검출 장치 및 방법에 관한 것이다. 특히, 본원은 웨이블릿 변환 기반의 아크 검출 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 도 1은 태양광발전(Photovoltaics System, PV) 시스템의 PV 어레이에서 아크가 발생할 수 있는 위치의 예를 나타낸 도면이다.

[0003] 도 1을 참조하면, 일반적으로 PV 시스템(1)은 복수 개의 태양광발전 패널(PV panel, PV 모듈)(1a)이 직렬 및 병렬로 전선(Wire, 1b)과 커넥터(connector, 1c)에 의해 연결되어 있다. 각각 병렬로 연결된 PV 패널(1a)은 태양광 접속함(접속반, Combine Box, 1d)에 공통으로 연결되어 인버터(Inverter, 1e)에 전력을 공급할 수 있다.

[0004] PV 시스템(1)에서의 아크(Arc, 전기 아크)는 직렬 결함 또는 병렬 결함으로 발생할 수 있다. 즉, PV 시스템(1)에서는 직렬 아크(Series Arc) 결함과 병렬 아크(Parallel Arc) 결함이 발생할 수 있다. 이러한 아크 결함은 화재, 충격 위험 및 시스템 고장을 유발할 수 있으며, 대규모 태양광 설비뿐만 아니라 소규모 주거용 설비에도 존재하므로 안전에 중대한 위협이 될 수 있다.

[0005] 아크 결함 중 특히 직렬 아크 결함은, PV 패널들 사이를 연결하는 커넥터(1c)의 연결부위가 열화 또는 진동으로 인해 불안정한 체결 상태가 되거나 전선(1b) 연결이 느슨해지는 경우(지지되지 않아 느슨해진 전선이 커넥터에 부담을 주게 되는 경우) 등에 의해 발생될 수 있다. 직렬 아크 결함은 병렬 아크 결함에 비해 사고로 인한 부하 전류의 변화가 소폭에 불과하여 검출이 더욱 어려운 측면이 있다.

[0006] 이에 따라, 보다 효과적으로 직렬 아크 결함을 검출할 수 있는 기술에 대한 개발이 요구되고 있으나, 현재까지는 이러한 요구를 충족시킬 만한 마땅한 기술이 없는 실정이다.

[0007] 본원의 배경이 되는 기술은 한국등록특허공보 제10-1244877호에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본원은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 태양광발전시스템 내에서 발생하는 직렬 아크 결함을 보다 효과적으로 검출할 수 있는 태양광발전시스템 내 웨이블릿 변환 기반의 아크 검출 장치 및 방법을 제공하려는 것을 목적으로 한다.

[0009] 다만, 본원의 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제들로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템 내 아크 검출 장치는, 태양광발전시스템 내 PV 모듈들과 접속반 사이에 배치된 전류센서를 통해 측정된 전기신호를 획득하는 획득부; 및 상기 획득된 전기신호를 웨이블릿 변환하여 분석함으로써 상기 태양광발전시스템 내 아크의 발생 여부를 검출하고, 아크가 발생한 것으로 검출되면 상기 PV 모듈들에서 상기 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행하는 검출제어부를 포함하고, 상기 검출제어부는, 상기 획득된 전기신호의 구간 중 기설정된 조건을 충족하는 아크 의심 구간을 식별하고, 식별된 상기 아크 의심 구간에 대하여 상기 웨이블릿 변환으로서 이산 웨이블릿 변환을 적용하여 상기 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.

[0011] 상술한 과제 해결 수단은 단지 예시적인 것으로서, 본원을 제한하려는 의도로 해석되지 않아야 한다. 상술한 예시적인 실시예 외에도, 도면 및 발명의 상세한 설명에 추가적인 실시예가 존재할 수 있다.

발명의 효과

[0012] 전술한 본원의 과제 해결 수단에 의하면, 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)을 이용함으로써 태양광발전시스템 내 아크의 발생 여부를 효과적으로 판단할 수 있다.

[0013] 전술한 본원의 과제 해결 수단에 의하면, PV 시스템 내에서 발생하는 직렬 아크 결함을 보다 효과적으로 검출할

수 있다.

[0014] 또한 본원은 기울기를 기반으로 1차적으로 식별된 아크 의심 구간에 한하여 웨이블릿 변환을 적용하여 아크 발생 여부를 검출함으로써, 종래의 아크 검출 기술들 대비 연산량을 효과적으로 줄여 아크가 발생했는지 여부를 빠르게 식별할 수 있으며, 나아가 다양한 센서와의 접목을 통해 아크 발생 확률(가능성)을 파악하여 전류센서의 측정 시간 간격을 상황에 따라 조정함으로써, 아크 발생으로 인한 화재를 미연에 방지할 수 있다.

[0015] 다만, 본원에서 얻을 수 있는 효과는 상기된 바와 같은 효과들로 한정되지 않으며, 또 다른 효과들이 존재할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 태양광발전시스템의 PV 어레이에서 아크가 발생할 수 있는 위치의 예를 나타낸 도면이다.

도 2는 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템의 개략적인 구성을 나타낸 도면이다.

도 3은 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템 내 포함된 아크 검출 장치의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 4는 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템의 태양광발전 어레이의 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 5a는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치의 검출제어부에 의하여 수행되는 웨이블릿 변환 수행 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 5b는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 고려되는 모 웨이블릿 유형의 예를 나타낸 도면이다.

도 6은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호에 대하여 웨이블릿 변환이 적용된 경우의 그래프를 나타낸 도면이다.

도 7은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호를 기 설정된 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로 분해한 경우의 그래프 예를 나타낸 도면이다.

도 8은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 고려되는 웨이블릿 변환과 관련하여 웨이블릿 분해 트리 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 고려되는 웨이블릿 변환을 이용한 두 단계의 분해의 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치의 검출제어부가 RMS_{norm} 값과 전류 차이값을 이용하여 아크를 검출하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 11은 본원의 다른 일 실시예에 따른 태양광발전시스템의 어레이의 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 12는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 고려되는 적외선 센서의 회로도의 예를 나타낸 도면이다.

도 13은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 고려되는 자외선 감지 센서를 이용한 아크 검출 회로도의 예를 나타낸 도면이다.

도 14는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치에서 고려되는 자외선 감지 센서의 회로도의 예를 나타낸 도면이다.

도 15는 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법에 대한 동작 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본원을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0018] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결" 또는 "간접적으로 연결"되어 있는 경우

도 포함한다.

- [0019] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에", "상부에", "상단에", "하에", "하부에", "하단에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0020] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0021] 도 2는 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200, Photovoltaics System, PV System)의 개략적인 구성을 나타낸 도면이다. 도 3은 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200) 내 포함된 아크 검출 장치(100)의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도이다. 도 4는 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200)의 태양광발전(PV) 어레이의 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0022] 이하에서는 설명의 편의상, 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200)을 본 시스템(200)이라 하고, 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200) 내 아크 검출 장치(100)를 본 장치(100)라 하기로 한다.
- [0023] 본 장치(100)는 웨이블릿 변환(즉, 웨이블릿 분석, 웨이블릿 주파수 분석)을 기반으로 본 시스템(200) 내에 발생하는 아크를 검출하는 웨이블릿 변환 기반 아크 검출 장치를 의미할 수 있다.
- [0024] 도 2 내지 도 4를 참조하면, 본 시스템(200)은 아크 검출 장치(100, 본 장치), 태양광발전 패널(PV panel, PV 모듈)(1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f), 전류센서(10) 및 초음파 센서(30)를 포함할 수 있다.
- [0025] 본 시스템(200)에는 복수 개의 PV 모듈(PV 모듈들)(1a, ..., 1f)이 직렬 및 병렬로 전선(Wire, 2)과 커넥터(connector, 3)에 의해 연결되어 있을 수 있다. 각각 병렬로 연결된 PV 모듈들은 태양광 접속반(접속함, Combine Box, 4)에 공통으로 연결되어 인버터(Inverter, 5)에 전력을 공급할 수 있다.
- [0026] 전선(2)은 PV 모듈들(1a, ..., 1f)에 의해 발생된 직류를 교류로 변환하고, 변환된 교류를 공공의 전기 그리드(미도시)로 공급하는 공통 인버터(5)에 연결될 수 있다.
- [0027] 본 시스템(200)에서 전류센서(10)는 일례로 PV 모듈들(1a, ..., 1f)과 접속반(4) 사이에 배치될 수 있다. 특히, 전류센서(10)는 PV 모듈들과 접속반(4)을 연결하는 전선(2) 상에 배치될 수 있다. PV 모듈들에서 발생된 전기신호는 전선(2)을 통해 접속반(4)으로 전달될 수 있으며, 전류센서(10)는 PV 모듈들로부터 접속반(4)으로 전달되는 전기신호를 측정할 수 있다.
- [0028] 도 4에 도시된 본원의 일 예에서는 전류센서(10)가 PV 모듈들과 접속반(4) 사이에 1개 배치되는 것으로만 예시하였으나, 이에만 한정되는 것은 아니고, 복수개 배치될 수 있다. 구체적인 예로, 본원의 다른 일 예에 따르면, 본 장치(100)에서 전류센서는 PV 모듈들에 대한 병렬 배치의 수에 대응하는 수로 복수개 구비될 수 있다.
- [0029] 전류센서(10)는 가파른 에지(steep-edged)의 전류 변화들을 검출하기 위한 센서일 수 있다.
- [0030] 본원의 일예에서는 본 장치(100)가 아크 검출을 위한 센서로서 전류센서(10)를 이용하는 것으로만 예시하였으나, 이에 한정되는 것은 아니고, 다른 예로 전압 변화 등을 검출하기 위한 전압 센서가 이용될 수 있다. 즉 본 장치(100)에는 아크 검출을 위해, 전류 및 전압 중 적어도 하나의 전기신호를 측정하는 센서(전류센서, 전압 센서)가 적용될 수 있다.
- [0031] PV 모듈들(1a, ..., 1f)은 직렬 또는 병렬로 연결될 수 있다. PV 모듈들(1a, ..., 1f) 간에는 연결 부재(2, 3)에 의하여 연결될 수 있다. 즉, PV 모듈들(1a, ..., 1f)은 전선(2)과 커넥터(3)를 포함하는 연결 부재(2, 3)에 의하여 서로 간에 연결될 수 있다.
- [0032] 전선(2)은 도선 위에 이중 피복이 되어 있어서 이중으로 절연되어 있는 전선을 의미하는 케이블, 피복이 한겹이고 절연처리가 한번 이루어진 전선을 의미하는 와이어, 배선 등으로 달리 표현될 수 있다. 커넥터(3)는 예시적으로 MC4 등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0033] 본 시스템(200)에서 아크가 발생하면, 아크는 본 장치(100)에 의해 검출될 수 있다. 본 장치(100)는 전류센서(10)를 통해 측정된 전기신호를 전류센서(10)로부터 획득하여 분석함으로써 본 시스템(200)에서 발생된 아크(방전)를 검출할 수 있다.
- [0034] 앞서 말한 바와 같이, PV 시스템에서는 직렬 아크(Series Arc) 결함과 병렬 아크(Parallel Arc) 결함이 발생할 수 있다. 여기서, 직렬 아크 결함은 PV 시스템 내에서 직렬로 배치된 구성 요소(예를 들어, 전선이나 커넥터

등)에 의해 나타나는 아크 결함을 의미하고, 병렬 아크 결함은 PV 시스템 내에서 병렬로 배치된 구성 요소에 의해 나타나는 아크 결함을 의미한다.

- [0035] 특히, 직렬 아크 결함은, PV 모듈들(1a, ..., 1f) 사이를 연결하는 커넥터(3)의 연결부위가 열화 또는 진동으로 인해 불안정한 체결 상태가 되거나 전선(2) 연결이 느슨해지는 경우 등에 의해 발생될 수 있다. 즉, PV 시스템에서는 전선이 PV 패널 등의 지지 부재에 제대로 지지되지 않아 느슨해진 경우, 느슨해진 전선이 커넥터에 부담을 주게 됨으로써 커넥터(3)의 체결을 불안정하게 해 직렬 아크 결함이 발생될 수 있다. 직렬 아크 결함은 병렬 아크 결함에 비해 사고로 인한 부하 전류의 변화가 소폭에 불과하여 검출이 더욱 어려운 측면이 있다.
- [0036] 이에 본원은 전류센서(10)를 통해 측정된 전기신호에 대한 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환) 기반의 분석, 초음파 센서(30)를 이용하여 측정되는 초음파 신호의 분석, 적외선 센서를 이용하여 측정(획득)된 적외선 신호의 분석 등을 이용하여 직렬 아크 결함을 효과적으로 검출할 수 있는 기술을 제공하고자 한다.
- [0037] 본 장치(100)는 적외선 센서를 통해 측정된 적외선 신호의 분석을 통해 아크 발생 위험성 수준, 달리 표현해 아크 발생 확률(가능성)을 파악할 수 있으며, 이를 통해 전류센서(10)에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 조정할 수 있다. 보다 구체적인 설명은 후술하여 설명하기로 한다.
- [0038] 초음파 센서(30)는 일예로 접속반(4) 내부에 배치될 수 있다. 특히, 초음파 센서(30)는 접속반(4) 내에 PV 모듈들과 연결되는 전선 상에 배치될 수 있다.
- [0039] 본 장치(100)는 초음파 센서(30)를 이용해 측정된 초음파(초음파 신호)의 분석을 통해 태양광발전시스템 내 아크가 발생했는지 여부를 검출할 수 있으며, 구체적인 설명은 후술하여 설명하기로 한다.
- [0040] 본 장치(100)는 전류센서(10), 초음파 센서(30), 적외선 센서(미도시) 등을 포함하는 다양한 종류의 센서로부터 측정된 측정 값(센싱 값)을 이용하여 본 시스템(200) 내 아크의 발생을 감지(검출) 내지 아크 발생 확률(가능성)을 예측할 수 있다.
- [0041] 본 장치(100)는 다양한 종류의 센서(전류센서, 초음파 센서, 적외선 센서)에 의하여 측정된 측정 값을 무선통신(300)을 통해 획득(수신)할 수 있다. 무선통신(300)은 일예로 RF(Radio Frequency) 통신, NFC(Near Field Communication) 통신, 블루투스(Bluetooth) 통신, 비콘(Beacon) 통신 등일 수 있으며, 이에 한정된 것은 아니다.
- [0042] 본 장치(100)는 일예로 본 시스템(200) 내 PV 어레이 구조 중 적어도 일부의 영역에 배치(마련)되는 장치일 수 있다. 일예로, 본 장치(100)는 전류센서(10)의 배치 위치에 대하여, 전류센서(10)를 포함하도록 배치되는 장치일 수 있다. 이에 따르면, 본 장치(100)는 전류센서(10)를 포함할 수 있다. 다만 이에만 한정되는 것은 아니고, 본 장치(100)는 접속반(4) 내에 배치된 장치일 수 있다.
- [0043] 또 다른 일예로, 본 장치(100)는 서버일 수 있다. 또 다른 일예로, 본 장치(100)는 디스플레이부(미도시)를 구비하는 경우 본 시스템(200)에 대한 아크 발생의 모니터링이 가능한 단말 장치일 수 있다. 여기서, 단말 장치는 사용자 단말로서, 일예로 스마트폰(Smartphone), 스마트패드(SmartPad), 태블릿 PC, 노트북, 웨어러블 디바이스, 데스크탑 PC 등과 같은 모든 종류의 유무선 통신 장치를 의미할 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0044] 본 장치(100)는 양발전시스템 내 아크 검출 장치로서, 아크 검출기 등으로 달리 표현될 수 있다. 본 장치(100)에 대한 보다 상세한 설명은 다음과 같다.
- [0045] 본 장치(100)는 획득부(110), 검출제어부(120), 초음파 획득부(140), 적외선 획득부(미도시)를 포함할 수 있다.
- [0046] 획득부(110)는 태양광발전시스템(200) 내 PV 모듈들(1a, ..., 1f)과 접속반(4) 사이에 배치된 전류센서(10)를 통해 측정된 전기신호를 획득할 수 있다. 여기서, 전류센서(10)를 통해 측정되는 전기신호는 전류신호일 수 있다.
- [0047] 획득부(110)는 일예로 전류센서(10)를 통해 실시간으로 측정된 전기신호를 획득할 수 있다.
- [0048] 다른 일예로, 획득부(110)는 전류센서(10)에 의해 측정된 전기신호를 미리 설정된 시간 간격으로 획득할 수 있다. 예시적으로, 획득부(110)는 전류센서(10)를 통해 측정된 전기신호를 0.01초 간격으로 획득할 수 있다. 즉, 전류센서(10)는 미리 설정된 시간 간격(일예로, 0.1초 간격)으로 전기신호를 측정할 수 있다. 이러한 전기신호의 획득 시간 간격(혹은 전류센서에 의한 전기신호 측정 시간 간격)은 사용자 입력에 의하여 설정될 수 있다.
- [0049] 검출제어부(120)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호를 웨이블릿 변환하여 분석함으로써 태양광발전시스템(200),

본 시스템) 내 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 아크가 발생한 것으로 검출되면, PV 모듈들에서 접속반(4)으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행할 수 있다.

- [0050] 검출제어부(120)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호의 구간 중 기설정된 조건을 충족하는 아크 의심 구간을 1차로 식별할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 식별된 아크 의심 구간에 대하여 웨이블릿(Wavelet) 변환으로서 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)을 적용하여 본 시스템(200)에서의 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0051] 여기서, 아크 의심 구간은, 획득부(110)에서 획득된 전기신호의 구간 중 미리 설정된 시간 구간(예를 들어, 0.5 시간에 해당하는 구간)에서의 기울기가 제1 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점부터 미리 설정된 시간 구간에서의 기울기가 제2 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점까지 속한 구간을 의미할 수 있다. 이때, 제1 임계 기울기 및 제2 임계 기울기는 절대값 크기가 같되, 부호가 반대일 수 있다. 예시적으로, 제1 임계 기울기는 미리 설정된 시간 구간이 0.5(즉, x축 증가량이 0.5이고 y축 증가량이 10인 경우 20일 수 있다. 제2 임계 기울기는 -20일 수 있다.
- [0052] 검출제어부(120)는 획득된 전기신호의 구간 중 전기신호의 기울기가 제1 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점부터 제2 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점까지의 구간을 아크 의심 구간으로 1차적으로 식별할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 1차적으로 식별된 아크 의심 구간에 한하여 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써 아크 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0053] 이러한 본 장치(100)는 아크 의심 구간에 한하여 이산 웨이블릿 변환을 적용하여 아크 발생 여부를 검출함으로써, 획득부(110)에서 획득된 전기신호 전체에 대해 이산 웨이블릿 변환을 적용하여 아크 발생 여부를 검출하는 것 대비 연산량을 효과적으로 줄이고 아크가 발생했는지 여부를 빠르게 식별할 수 있다.
- [0054] 웨이블릿은 효율적으로 한정된 구간에서 지속되며 그 평균값이 0인 파동형태를 의미한다. 웨이블릿 변환은 신호를 모 웨이블릿(mother wavelet)의 시프트(shifted), 스케일(scaled) 변형된 것들로 분해할 수 있다. 웨이블릿 변환은 푸리에 변환과 같은 선형변환을 의미하며, 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)과는 다르게, 주어진 신호의 다른 주파수 성분들의 정확한 시간 위치화를 허용할 수 있다.
- [0055] 웨이블릿 변환은 파형 함수(모 웨이블릿, 모 파형)와 스케일링 함수(분 파형)로 불리는 한 쌍의 파형 프로토 타입 함수를 기반으로 하며, 이와 함께 미분 신호를 일련의 웨이블릿 구성요소로 분해하는 국부 신호처리 방법을 제공한다.
- [0056] 또한, 웨이블릿 변환은 연속적으로 신호 푸리에 변환에 관한 대한 이산 푸리에 변환(DFT)의 구현과 유사하게, 디지털 신호 처리(Digital Signal Processing, DSP)의 구현이 가능하도록 이산 웨이블릿 변환(DWT)을 가질 수 있다. 본 장치(100)는 모 웨이블릿을 이용한 웨이블릿 변환 중 특히 이산 웨이블릿 변환을 이용함으로써, 아크의 발생을 효과적으로 감지(식별)할 수 있다.
- [0057] 웨이블릿 변환은 전원 시스템 오류 신호와 같이 불연속 또는 급격한 변화가 있는 신호를 근사화하는데 특히 효과적이라 할 수 있다. 웨이블릿 변환시 모 웨이블릿(모 파형)을 적절하게 선택하는 경우에는 효과적으로 아크를 검출해 낼 수 있다.
- [0058] 도 5a는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)의 검출제어부(120)에 의하여 수행되는 웨이블릿 변환 수행 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0059] 이때, 후술하는 도 5a를 참조한 설명에서, 단계 S31 내지 S32는 본원의 구현예에 따라서, 추가적인 단계들로 더 분할되거나, 더 적은 단계들로 조합될 수 있다. 또한, 일부 단계는 필요에 따라 생략될 수도 있고, 단계 간의 순서가 변경될 수도 있다.
- [0060] 도 5a를 참조하면, 획득된 전기신호의 구간 중 기설정된 조건을 충족하는 아크 의심 구간이 식별된 이후에, 검출제어부(120)는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 특성에 따라 복수의 모 웨이블릿 유형 중 어느 하나의 모 웨이블릿을 선택적으로 선택(S31)하고, 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 이용해 이산 웨이블릿 변환을 수행(S32)할 수 있다. 이는 도 5b를 참조하여 보다 쉽게 이해될 수 있다.
- [0061] 도 5b는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 고려되는 모 웨이블릿 유형의 예를 나타낸 도면이다.
- [0062] 도 5b를 참조하면, 웨이블릿 변환시 고려되는 모 웨이블릿 유형에는 Haar 웨이블릿 (a), Coiflet 5 웨이블릿

(b), Daubechies(db) 4 웨이블릿 (c), Daubechies(db) 8 웨이블릿 (d), Coiflet 3 웨이블릿, Symmlet 8 웨이블릿 등과 같이, 많은 유형(종류)의 파형이 포함될 수 있다.

- [0063] 검출제어부(120)는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 특성(즉, 전기신호의 형태에 관한 특성)에 따라 복수의 모 웨이블릿 유형 중 어느 하나의 모 웨이블릿을 선택적으로 선택(S31)하고, 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 이용해 웨이블릿 변환(특히, 이산 웨이블릿 변환)을 수행(S32)할 수 있다.
- [0064] 이때, 어느 하나의 모 웨이블릿은, 복수의 모 웨이블릿 유형 중에서 식별된 전기신호의 모양(파형 형태)과의 유사도가 미리 설정된 유사도 값 이상에 속한 후보 모 웨이블릿 중 어느 하나로 선택될 수 있다. 또한, 어느 하나의 모 웨이블릿은, 후보 모 웨이블릿의 계수 값을 비교한 결과 가장 작인 계수 값을 갖는 모 웨이블릿으로 선택될 수 있다.
- [0065] 다시 말해, 이산 웨이블릿 변환의 적용을 위한 복수의 모 웨이블릿 유형 중 어느 하나의 모 웨이블릿을 선택적으로 선택함에 있어서(단계S31을 수행함에 있어서), 검출제어부(120)는 복수의 모 웨이블릿 유형 중 전기신호의 파형 분석을 통해 식별된 전기신호의 모양과 유사도가 높은(미리 설정된 유사도 값 이상에 속한) 모 웨이블릿을 후보 모 웨이블릿으로서 1차 선택(S31-1)할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 후보 모 웨이블릿의 계수 값을 비교(S31-2)함으로써, 후보 모 웨이블릿 중 가장 작인 계수 값을 갖는 모 웨이블릿을 단계S32에서 이산 웨이블릿 변환시 이용되는 어느 하나의 모 웨이블릿(선택된 어느 하나의 모 웨이블릿)으로서 최종 선택(2차 선택)(S31-3)할 수 있다.
- [0066] 여기서, 모 웨이블릿의 계수 값은 일예로 로우 패스 필터(LPF, Low Pass Filter) 및 하이 패스 필터(HPF, high pass filter)를 통해 신호를 전달하고 2로 다운 샘플링하는 방식으로 계산될 수 있다. 필터는 원본 신호(전기신호로서, 본원에서는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호를 의미함)의 정보가 다운 샘플링에서 손실되지 않도록 하고 역 이산 웨이블릿 변환(DWT)을 구현함으로써 계수에서 원래 신호를 완벽하게 재구성할 수 있다.
- [0067] 필터는 사용되는 모 웨이블릿에 따라 달리 적용(선택)될 수 있으며, 모든 레벨의 분해에서 전체 동일하게 적용될 수 있다. 따라서, 본 장치(100)에서 검출제어부(120)는 컨벌루션 및 다운 샘플링의 구현을 통해, 시간 영역에서 마이크로프로세서 상에서의 아크 검출이 가능할 수 있다.
- [0068] 즉, 검출제어부(120)는 웨이블릿 변환시 이용되는 모 웨이블릿으로서, 복수 유형의 모 웨이블릿 중 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 모양(파형)과 유사하면서 모 웨이블릿의 계수 값은 최소 값을 갖는 모 웨이블릿을 선택할 수 있다. 검출제어부(120)는 이렇게 단계S31-3에서 선택된 모 웨이블릿을 이용하여 웨이블릿 변환을 수행(S32)함으로써 아크의 발생 여부를 판단할 수 있다. 검출제어부(120)는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호에 대하여, 복수의 모 웨이블릿 중 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 기반으로 한 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써, 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호를 시간 상에서 표현할 수 있다.
- [0069] 검출제어부(120)는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호를 앞서 복수의 모 웨이블릿 유형 중 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 사용하여 기 설정된 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨까지 분해하는 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써, 본 시스템(200) 내 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다. 여기서, 복수의 레벨까지의 분해라 함은 후술하는 다해상도 분해(multi-resolution analysis, MRA)를 의미할 수 있다.
- [0070] 검출제어부(120)는 시간 상에서 표현된 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호의 파형 그래프 내에서 미리 설정된 결함 감지 임계값을 초과하는 영역의 구간을 아크가 발생한 구간으로 식별할 수 있다. 즉, 검출제어부(120)는 일예로 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호의 파형을 기반으로, 해당 파형이 미리 설정된 결함 감지 임계값을 초과하는지 여부로 아크(아크 결함)의 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0071] 검출제어부(120)는 미리 설정된 결함 감지 임계값을 초과하는 구간에 대응하는 시간 구간을 아크가 발생한 시간 구간으로 판단할 수 있다. 이에 대한 설명은 도 6을 참조하여 보다 쉽게 이해될 수 있다.
- [0072] 도 6은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호에 대하여 웨이블릿 변환이 적용된 경우의 그래프를 나타낸 도면이다.
- [0073] 특히, 도 6에서 (a)는 일예로 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 파형 그래프의 예를 나타낸다. 여기서, 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호에 대한 샘플링 속도(fs)는 1 MHz일 수 있다. 또한, 도 6에서 (b), (c), (d)는 도 6의 (a)와 같은 전기신호에 대하여 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)이 적용된 전기신호의 파형 그래프의 예를 나타낸다. 특히, 도 6에서 (b), (c), (d) 각각은 일예로 전기신호에 대한 웨이블릿 변환 적용시 모 웨이블릿으로서 Daubechies 3 (db3), Daubechies 9 (db9) 및 Daubechies 19 (db19)가 각각 적용된 경우의 파형

그래프의 예를 나타낸다.

- [0074] 도 6을 참조하면, 전기신호에 대하여 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)을 적용하는 경우, 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호의 파형 그래프에서 아크가 발생한 구간과 아닌 구간이 보다 용이하게 구분(식별)될 수 있다.
- [0075] 구체적으로, 검출제어부(120)는 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호의 파형 그래프에서, 미리 설정된 결합 감지 임계값을 초과하는 영역의 구간을 아크가 발생한 구간으로 식별할 수 있다. 여기서, 미리 설정된 결합 감지 임계값은 예시적으로 진폭 크기가 0.04인 경우로 설정될 수 있다. 도 6의 예에서는 대략 0.43s 이상 0.77s 이하인 시간 구간이 아크가 발생한 구간으로 판단(식별)될 수 있다.
- [0076] 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호의 파형 그래프에 의하면, 아크가 발생한 구간에서의 파형 진폭이 아크가 발생하지 않은 구간 대비 진폭 변화가 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이를 고려해, 검출제어부(120)는 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호의 파형 그래프에서의 파형 분석을 통해 아크의 발생 여부를 보다 정확히 판단할 수 있다.
- [0077] 또한, 검출제어부(120)는 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 고려한 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호를 기 설정된 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로 분해함으로써 아크의 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0078] 여기서, 복수의 레벨로 분해된 주파수 대역의 전체 범위는 대략 7.8 kHz 이상 62.5 kHz 이하의 범위로 설정될 수 있다. 구체적으로, 복수의 레벨 중 제1 레벨의 주파수 대역은 일예로 7.8 kHz 이상 15.6 kHz 미만의 범위로 설정될 수 있다. 복수의 레벨 중 제2 레벨의 주파수 대역은 일예로 15.6 kHz 이상 31.3 kHz 미만의 범위로 설정될 수 있다. 복수의 레벨 중 제3 레벨의 주파수 대역은 일예로 31.3 kHz 이상 62.5 kHz 이하의 범위로 설정될 수 있다.
- [0079] 도 7은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)이 적용된 전기신호를 기 설정된 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로 분해한 경우의 그래프 예를 나타낸 도면이다. 달리 말해, 도 7은 기 설정된 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로 분해된 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호가 시간 상에 표현된 그래프의 예를 나타낸다.
- [0080] 도 7을 참조하면, 검출제어부(120)는 이산 웨이블릿 변환이 적용된 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호를 기 설정된 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로 분해하여 시간 상에 표현한 그래프를 획득할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 획득된 그래프에서 미리 설정된 결합 감지 임계값을 초과하는 영역이 존재하는지 여부로 아크의 발생 여부를 판단할 수 있다. 검출제어부(120)는 미리 설정된 결합 감지 임계값을 초과하는 영역에 대하여 아크가 발생한 것으로 판단할 수 있다.
- [0081] 이에 따르면, 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호를 기 설정된 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로 분해하여 시간 상에 표현하는 경우, 도 6의 경우(즉, 복수의 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨로의 분해가 적용되지 않은 경우)와 대비하여 아크가 발생된 위치의 표현이 보다 명확하게 나타남을 확인할 수 있다.
- [0082] 이러한 본 장치(100)는 이산 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호(아크 의심 구간에 대응하는 전기신호)를 복수의 레벨로 분해해 시간 상으로 표현함으로써, 분해된 신호를 시간 영역에서 결합 신호를 정확하게 위치시킬 수 있다. 다시 말해, 본 장치(100)는 복수의 레벨로의 분해를 통해 분해된 신호(분해된 웨이블릿 변환이 적용된 전기신호) 내에서의 아크 결합 신호(아크 결합이 발생한 전기신호)가 시간 영역 상에 보다 직관적으로 명확히 식별(구분)되도록 제공(표현)할 수 있다. 이를 통해, 본 장치(100)는 획득부(110)에서 획득되는 전기신호로부터 아크의 발생 여부를 보다 정확히 판단할 수 있다.
- [0083] 본 장치(100)는 분해된 신호에 의해 전기신호에 포함된 아크 결합 신호가 시간 영역에 정확히 위치하게 됨으로써 아크의 발생 여부를 정확히 판단할 수 있다.
- [0084] 본 장치(100)는 아크 발생 여부를 판단시 전기신호의 모양(파형)과 유사하면서 최소의 계수 값을 갖는 모 웨이블릿을 기반으로 웨이블릿 변환을 수행해 아크 발생 여부를 판단함으로써, 높은 계수 값을 갖는 모 웨이블릿을 이용하는 것 대비 아크 발생 여부를 판단 결과의 정확성을 높일 수 있다. 더하여, 본 장치(100)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호 중 아크에 의해 변화된 신호의 정확한 순간은 감지(식별)할 수 있을 뿐만 아니라, 아크에 의한 변화된 신호(아크 신호)의 유형과 진폭을 효과적으로 감지(식별, 탐지)할 수 있다.
- [0085] 본 장치(100)에서 고려되는 이산 웨이블릿 변환은 아크 발생 여부에 대한 감지(식별)가 용이하도록 하는 신호를 제공할 수 있다. 본 장치(100)에서 전기신호에 포함된 아크 신호(즉, 아크 발생에 의해 아크가 발생했음을 나타

내는 신호)는 디지털 신호 처리 및 마이크로프로세서에 의해 쉽게 발견되고 탐지될 수 있다.

- [0086] 본 장치(100)에서 고려되는 웨이블릿 변환에 대하여 다시 설명하면 다음과 같다.
- [0087] 웨이블릿 변환(Wavelet transform, WT)은 푸리에 변환(FFT)과 같은 선형 변환이라 할 수 있다. 웨이블릿 변환은 FFT와는 다르게, 주어진 신호의 다른 주파수 성분의 시간 위치화(time localization)를 허용한다.
- [0088] 전력 공학(power engineering)에서 발생하는 다양한 신호 및 문제 때문에 오류 검출(fault detection), 부하 예측(load forecasting) 및 전력 시스템 측정(power system measurement)과 같은 다양한 웨이블릿 변환 응용 프로그램이 있다. 게다가, 전력 교란 신호(power disturbance signals)에 대한 정보는 종종 전력 시스템 과도상태(power system transients)와 같이 시간적으로(temporally) 또는 공간적으로(spatially) 잘 국지화된(localized) 기능의 조합이다. 이는 웨이블릿의 특수한 특성(special property)을 적용하기에 좋은 영역인 시간-주파수 로컬리제이션(time-frequency localization, 시간-주파수 국부성)의 관점에서 신호를 처리하기 위해 다양한 분석 방법의 사용을 필요로 한다.
- [0089] 웨이블릿 분석 과정(즉, 웨이블릿 변환 기반 분석 과정)은 모 웨이블릿(mother wavelet)이라 불리는 웨이블릿 프로토타입 기능(prototype function)을 기반으로 한다. 웨이블릿 분석 과정은 차동 전류 신호(differential current signal)를 일련의 웨이블릿 구성 요소(wavelet components)로 분해하는(decompose) 로컬화된 신호 처리(localized signal processing) 방법을 제공하며, 이들 각각은 특정 주파수 대역(specific frequency band)을 커버(covers)하는 시간-도메인 신호(time-domain signal)이다.
- [0090] 웨이블릿은 전원 시스템 오류 신호(fault signals)와 같이 불연속(discontinuous) 또는 급격한 변화(sharp changes)가 있는 함수(functions)를 근사화하는데(approximating) 특히 효과적이라 할 수 있다. 모 웨이블릿(mother wavelet)을 적절하게 선택하면, 웨이블릿 변환은 오류 감지(fault detection) 및 기능 분산(feature distraction)을 위한 훌륭한 도구로 적용될 수 있다.
- [0091] 앞서 말한 바와 같이, 웨이블릿에는 Haar, Daubechies 4, Daubechies 8, Coiflet 3, Symmlet 8 등과 같이 많은 유형(종류)의 웨이블릿이 있으며, 이들 중 하나가 특정 용도(particular application)에 따라 선택되어 사용될 수 있다.
- [0092] 웨이블릿 변환에는 디지털 구현 가능한 대응물인(counterpart) 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)이 있으며, 이는 연속 신호(continuous-signal) 푸리에 변환인 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform, DFT)의 구현과 유사하다.
- [0093] 이산 웨이블릿 변환(DWT)은 하기 식 1과 같이 정의될 수 있다.
- [0094] [식 1]
- [0095]
$$C(j,k) = \sum_{\substack{n \in Z \\ j \in N, k \in Z}} s(n)g_{j,k}(n)$$
- [0096] 여기서, C(j,k)는 대응하는 웨이블릿(파형) 계수(coresponding wavelet coefficient), n은 샘플 번호(sample number), s(n)은 분석되는 신호(the signal to be analyzed)로서, 획득부(110)에서 획득하는 전기신호를 의미할 수 있다. 또한, $g_{j,k}(n)$ 는 이산 스케일링 함수(the discrete scaling function)로서 부 웨이블릿(father wavelet)이라 달리 불릴 수 있다. 이진 정규직교 웨이블릿 변환(dyadic-orthonormal wavelet transform)은 하기 식 2와 같이 정의될 수 있다.
- [0097] [식 2]
- [0098]
$$g_{j,k}(n) = 2^{-j/2} g(2^{-j}n - k)$$
- [0099] 이에 대한 보조 함수(auxiliary function)는 모 웨이블릿(mother wavelet)이라 불리는 웨이블릿 함수이다.
- [0100] 이 초기 설정(initial setting)에는 훌륭한 알고리즘(elegant algorithm)인 다중 해상도 신호 분해(multi-resolution signal decomposition, MSD) 기법이 존재하며, 이는 시간과 주파수 분해능(resolution)이 다른 레벨로 신호를 분해(decompose)할 수 있다.
- [0101] 도 8은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 고려되는 웨이블릿 변환과 관련하여 웨이블릿 분해

트리 구조를 설명하기 위한 도면이다.

[0102] 도 8을 참조하면, 웨이블릿 분해에 의하면, 각 레벨 j 에서, 근사(approximation) 및 세부(detail) 신호 A_j (이는 j 번째 레벨에서의 부 웨이블릿의 선형 조합으로 표시됨) 및 D_j (이는 j 번째 레벨에서의 모 웨이블릿의 선형 조합으로 표시됨)가 생성될 수 있다.

[0103] 여기서, "근사(approximation)"와 "세부(detail)"라는 용어는 A_{j-1} 이 A_j 의 저주파(low frequency)를 고려한 A_1 의 근사값(approximation, 근사치)인 반면, 상세 D_j 가 고주파(high frequency) 보정에 해당한다는 사실에 의하여 정당화될 수 있다.

[0104] 도 8에 도시된 바와 같이, 기준 레벨 J 의 경우, 다음과 같이 두가지 카테고리(two categories)의 세부 사항이 있다. 첫째, 인덱스(indices) $j \geq J$ 에 관한 세부 사항은 척도(scales) $2^{-j/2} \leq 2^{-J/2}$ 에 해당하며, 이는 훌륭한 세부 사항(fine details)이라 할 수 있다. 다른 세부 사항은 $j < J$ 에 해당하는 세부 사항을 의미할 수 있다. 이때, 각 레벨 j 에서 신호의 근사치(approximation)는 하기 식 3과 같이 정의될 수 있다.

[0105] [식 3]

$$s = A_J + \sum_{j \geq J} D_j$$

[0106] 여기서, s 는 세부 사항에 의해 개선된 근사치 A_J 의 합을 의미한다.

[0108] 이산 웨이블릿 변환은 일반적으로 다해상도 분석방법을 사용하여 도 8과 같은 분해(decomposition) 트리구조를 가질 수 있다. 구체적으로, 분해 트리구조에 의하면, 입력된 신호(즉, 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호)는 웨이블릿을 기저로 하는 로우 패스 필터를 적용하여 근사 성분에 해당하는 근사 계수 A_j 를 획득할 수 있고, 웨이블릿을 기저로 하는 하이 패스 필터를 적용하여 상세 성분에 해당하는 상세 계수 D_j 를 얻을 수 있다. 그 다음 분해 단계에서는 이전 분해 단계의 근사 계수에 대해서만 로우 패스 필터와 하이 패스 필터를 적용하는 방식으로 분해 트리구조가 구성될 수 있다.

[0109] 도 9는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 고려되는 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)을 이용한 두 단계의 분해(다해상도 분해 해석, multi-resolution analysis, MRA)의 예를 설명하기 위한 도면이다. 즉, 도 9는 DWT의 다해상도 분해 과정을 나타낸다.

[0110] 도 9를 참조하면, 검출제어부(120)에서 수행되는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호에 대한 복수 레벨까지의 분해는 다음과 같은 과정으로 이루어질 수 있다.

[0111] 복수 레벨로의 분해 과정 중 1차 레벨 분해 과정에서는, 입력신호(아크 의심 구간에 대응하는 전기신호)인 $c_j[n]$ 를 로우 패스 필터인 $h[n]$ 과 하이 패스 필터인 $g[n]$ 에 통과시킨 후 2로 다운샘플링함으로써 고주파수 성분인 $d_{j-1}[n]$ 과 저주파수 성분인 $c_{j-1}[n]$ 를 획득할 수 있다. 여기서, $d_{j-1}[n]$ 은 $c_j[n]$ 의 상세 성분(detail components)을 나타낸다. $c_{j-1}[n]$ 는 $c_j[n]$ 의 근사 성분(approximate components)을 나타낸다.

[0112] 이후, 다음 과정(즉, 복수 레벨로의 분해 과정 중 1차 레벨 분해 과정 다음인 2차 레벨 분해 과정)에서는, $c_{j-1}[n]$ 에 대하여 앞선 1차 레벨 분해 과정과 마찬가지로 로우 패스 필터인 $h[n]$ 과 하이 패스 필터인 $g[n]$ 에 통과시킨 후 2로 다운샘플링함으로써, $c_{j-1}[n]$ 를 두 부분으로 분해하는 과정이 이루어질 수 있다.

[0113] 이러한 분해 과정은 미리 설정된 복수의 레벨까지 반복 수행될 수 있다. 이때, 각 분해 과정에서 획득되는 데이터의 길이는 이전 분해 과정에서 획득된 데이터 길이의 절반일 수 있다. 분해 과정은 길이 N 인 데이터에 대하여 최대 \log_2^N 만큼 반복 수행될 수 있다.

[0114] 웨이블릿 변환시 신호가 특정 스케일의 웨이블릿에 근접하게 닮은 곳은 웨이블릿 계수의 값이 크게 나타나며, 나머지 스케일에서는 0에 가까운 계수들로 나타날 수 있으며, 이러한 성질은 희소성질(sparse property)이라 할

수 있다.

- [0115] 모 웨이블릿 유형(즉, 모 웨이블릿 함수의 유형)은 매우 다양하게 존재하며, 응용의 성격에 따라 그 결과 역시 다양하다고 할 수 있다. 본 장치(100)는 일예로 복수의 모 웨이블릿 유형 중 아크 검출을 위해 선택하는 어느 하나의 모 웨이블릿으로서, 아크로 인한 써지성 파형과 잡음 제거에 우수한 모 웨이블릿으로 알려진 Daubechies(db) 4를 선택할 수 있다.
- [0116] 아크 검출시 모 웨이블릿을 선택한다는 것은 신호 분석을 위한 최적의 필터를 선정하는 것과 같다고 볼 수 있다. 따라서 직렬 아크 결함 신호를 분석하기 위해서는 직렬 아크 결함 신호와 유사한 모 웨이블릿을 선택해야 하며, 일예로 Daub4 모 웨이블릿을 선택할 수 있다. Daub4 모 웨이블릿은 필터 길이(함수 길이)가 짧으면서, 시간상에서 더 잘 국부화하는 것으로 알려져 있다.
- [0117] 이처럼, 본 장치(100)는 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호에 대하여, 선택된 모 웨이블릿을 이용한 복수 레벨까지의 분해를 수행하는 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써, 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0118] 또한, 검출제어부(120)는 아크 의심 구간을 복수의 타이머 구간(복수의 시간 구간)으로 분할할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 이산 웨이블릿 변환의 적용을 기반으로, 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 카운트하여 복수의 타이머 구간 중 두번째 타이머 구간마다 1차 레벨 DWT 계수를 계산하고, 복수의 타이머 구간 중 네번째 타이머 구간마다 2차 레벨 DWT 계수를 계산할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간 중 마지막번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어지면, 1차 레벨 DWT 계수와 2차 레벨 DWT 계수를 이용하여 RMS_{norm} 값을 산출하고, 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면 아크 의심 구간을 아크 발생 후보 구간으로 식별할 수 있다. RMS 값은 제곱 평균 제곱근(root mean square)을 의미한다.
- [0119] 또한, 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스가 1씩 증가될 때마다 각 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값과 전류 최소값을 업데이트할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간 중 마지막번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어졌을 때 마지막번째 타이머 구간에서의 전류 최대값과 전류 최소값 간의 차이에 해당하는 전류 차이값을 산출할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 앞서 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면서, 산출된 전류 차이값이 미리 설정된 전류 임계값을 초과하면, 앞서 식별된 아크 발생 후보 구간에서 아크가 발생한 것으로 인식하여, 태양광발전시스템 내에 아크가 발생한 것으로 최종 검출할 수 있다. 이에 대한 설명은 도 10 및 도 11을 참조하여 보다 쉽게 이해될 수 있다.
- [0120] 도 10은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)의 검출제어부가 RMS_{norm} 값과 전류 차이값(I_{dif})을 이용하여 아크를 검출하는 과정을 나타낸 도면이다.
- [0121] 도 10을 참조한 일예에서는 복수의 타이머 구간이 일예로 5000개인 것으로 예시하였으나, 이에 한정되는 것은 아니고, 복수의 타이머 구간의 수(즉, 아크 의심 구간에 대한 타이머 구간의 분할 수)는 사용자 입력에 기반하여 다양하게 설정될 수 있다.
- [0122] 도 10을 참조하면, 검출제어부(120)는 앞서 1차로 식별된 아크 의심 구간을 복수의 타이머 구간으로 분할하고, 이산 웨이블릿 변환의 적용을 기반으로 복수의 타이머 구간의 인덱스를 0에서 1씩 증가시키며 차례로 카운트할 수 있다(s1). 일예로, 복수의 타이머 구간이 5000개인 경우, 복수의 타이머 구간 각각은 인덱스 값으로서 1, 2, ..., 5000의 값을 가질 수 있다.
- [0123] 이때, 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 1에서 5000까지 카운팅할 때, 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값(I_{max})과 전류 최소값(I_{min})을 각 타이머 구간마다 업데이트하여 결정할 수 있다(s2, s3). 즉, 단계s2 및 단계s3에서 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스가 1씩 증가될 때마다 각 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값과 전류 최소값을 업데이트할 수 있다. 달리 표현하여, 단계s2 및 단계s3에서 검출제어부(120)는 업데이트에 의해 타이머 구간마다의 전류 최대값과 전류 최소값을 새롭게 결정할 수 있다.
- [0124] 일예로, 타이머 구간의 인덱스를 0에서 1 증가시킴에 따라 복수의 타이머 구간 중 첫번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어진 경우(contr1인 경우)라 가정하자. 검출제어부(120)는 첫번째 타이머 구간에 대응하는 전기 신호의 전류값을 현재 전류값(I_{curr})으로서 획득할 수 있다.
- [0125] 이때, 단계s2에서 검출제어부(120)는 첫번째 타이머 구간으로부터 획득된 현재 전류값(I_{curr})이 기설정된 최대 전류값(I_{max})을 초과하는 경우, 첫번째 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값을 현재 전류값(I_{curr})으로 업데이트

이트하여 결정할 수 있다. 한편, 단계s2에서 검출제어부(120)는 첫번째 타이머 구간으로부터 획득된 현재 전류값(Icurr)이 기설정된 최대 전류값(Imax)을 초과하지 않는 경우, 첫번째 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값을 기설정된 최대 전류값(Imax)로 업데이트하여 결정할 수 있다.

[0126] 마찬가지로, 단계s3에서 검출제어부(120)는 첫번째 타이머 구간으로부터 획득된 현재 전류값(Icurr)이 기설정된 최소 전류값(Imin) 미만인 경우, 첫번째 타이머 구간에서 고려되는 전류 최소값을 현재 전류값(Icurr)으로 업데이트하여 결정할 수 있다. 한편, 단계s3에서 검출제어부(120)는 첫번째 타이머 구간으로부터 획득된 현재 전류값(Icurr)이 기설정된 최소 전류값(Imin) 미만인 경우, 첫번째 타이머 구간에서 고려되는 전류 최소값을 기설정된 최소 전류값(Imin)으로 업데이트하여 결정할 수 있다.

[0127] 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 카운트할 때, 복수의 타이머 구간 중 두번째 타이머 구간마다 1차 레벨(1st level) DWT 계수(Coef11)를 계산할 수 있다(s4). 이때, 1차 레벨 계수로는 제1 계수인 Coef11가 계산될 수 있다.

[0128] 또한, 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 카운트할 때, 복수의 타이머 구간 중 네번째 타이머 구간마다 2차 레벨(2nd level) DWT 계수(Coef12 Coefh2)를 계산할 수 있다(S5). 이때, 2차 레벨 계수로는 제1 계수인 Coef12와 제2 계수인 Coefh2가 계산될 수 있다.

[0129] 단계S5에서 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 1차 레벨 DWT 계수(Coef11)와 2차 레벨 DWT 계수(Coef12 Coefh2)가 계산될 때마다, 제1 계수의 값을 누적하여 합한 값인 제1 계수 합(Coef12_sum)과 제2 계수의 값을 누적하여 합한 값인 제2 계수 합(Coefh2_sum)을 업데이트할 수 있다. 즉, 단계S5에서 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간의 인덱스가 1씩 증가될 때마다 업데이트된 제1 계수 합(Coef12_sum)과 업데이트된 제2 계수 합(Coefh2_sum)을 획득할 수 있다.

[0130] 검출제어부(120)는 상술한 단계S1 내지 단계S5의 과정을 복수의 타이머 구간 중 마지막 번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어질 때까지 반복 수행할 수 있다. 즉, 검출제어부(120)는 타이머 구간의 인덱스가 5000이 될 때까지 단계S1 내지 단계S5의 과정을 반복 수행할 수 있다.

[0131] 달리 말해, 검출제어부(120)는 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키는 카운팅을 수행하는 중 마지막 번째 타이머 구간에 대한 인덱스의 카운팅이 아닌 경우(S6-No인 경우), 단계S1로 되돌아갈 수 있다. 한편, 검출제어부(120)는 마지막 번째 타이머 구간에 대한 인덱스의 카운팅인 경우(S6-Yes인 경우), RMS_{norm} 값 및 전류 차이값(I_{dif})을 산출할 수 있다(S7).

[0132] 구체적으로 단계S7에서 RMS_{norm} 값의 산출 과정은 다음과 같다. 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간 중 마지막 번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어지면, 1차 레벨 DWT 계수(Coef11)와 2차 레벨 DWT 계수(Coef12 Coefh2)를 이용하여 RMS_{norm} 값을 산출할 수 있다. 특히, 검출제어부(120)는 계산된 1차 레벨 DWT 계수와 2차 레벨 DWT 계수를 기반으로 획득된 제1 계수 합(Coef12_sum)과 제2 계수 합(Coefh2_sum)을 이용하여 RMS_{norm} 값을 산출할 수 있다. 검출제어부(120)는 RMS_{norm} 값을 하기 식 4를 이용하여 산출할 수 있다.

[0133] [식 4]

$$\begin{aligned}
 RMS12 &= \text{sqrt}(Coef12_sum) \\
 RMSSh2 &= \text{sqrt}(Coefh2_sum) \\
 RMS_{norm} &= RMSSh2/RMS12
 \end{aligned}$$

[0134] 상기 식 4에 의하면, 검출제어부(120)는 제1 계수 합(Coef12_sum)에 대한 제곱근(sqrt)인 RMS12 값과 제2 계수 합(Coefh2_sum)에 대한 제곱근인 RMSSh2 값을 산출하고, RMS12 값을 RMSSh2 값으로 나눔으로써 RMS_{norm} 값을 산출할 수 있다.

[0136] 단계S7에서 전류 차이값(I_{dif})의 산출 과정은 다음과 같다. 검출제어부(120)는 마지막 번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어졌을 때, 마지막 번째 타이머 구간에서의 전류 최대값과 전류 최소값 간의 차이에 해당하는 전류 차이값을 산출할 수 있다. 달리 말해, 검출제어부(120)는 마지막 번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어졌을 때, 마지막 번째 타이머 구간에서 업데이트되어 결정된 전류 최대값(Imax)과 마지막 번째 타이머 구간에서 업데이트되어 결정된 전류 최소값(Imin)의 차이를 통해 전류 차이값(Imax - Imin= I_{dif})을 산출할 수 있다.

- [0137] 단계S7의 수행 이후, 검출제어부(120)는 단계S7에서 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값(R_{th})을 초과하는지 판단(S8)할 수 있다. 이때, RMS_{norm} 값이 R_{th} 값을 초과하면(S8-Yes 이면), 검출제어부(120)는 아크 의심 구간을 아크 발생 후보 구간으로 식별할 수 있다(S9).
- [0138] 만약, RMS_{norm} 값이 R_{th} 값을 초과하지 않으면(S8-No 이면), 검출제어부(120)는 아크 의심 구간에서 아크가 발생하지 않은 것으로 최종 판단하고, 이후 획득부(110)에서 획득된 전기신호로부터 다른 아크 의심 구간을 식별하는 과정을 수행할 수 있다(S12).
- [0139] 단계S9이후, 검출제어부(120)는 단계S7에서 산출된 전류 차이값(I_{dif})이 미리 설정된 전류 임계값(I_{th})을 초과하는지 판단(S10)할 수 있다. 이때, 전류 차이값(I_{dif})이 I_{th} 를 초과하면(S10-Yes), 검출제어부(120)는 아크 발생 후보 구간에서 아크가 발생한 것으로 인식하여 태양광발전시스템 내에 아크가 발생한 것으로 최종 검출(최종 판단)할 수 있다(S11).
- [0140] 달리 말해, 단계S11에서 검출제어부(120)는 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면서(S8-Yes이면서), 산출된 전류 차이값이 미리 설정된 전류 임계값을 초과하면(S10-Yes 이면), 아크 발생 후보 구간에서 아크가 발생한 것으로 인식해 태양광발전시스템(200) 내에 아크가 발생한 것으로 최종 검출(판단)할 수 있다.
- [0141] 만약, 전류 차이값(I_{dif})이 I_{th} 를 초과하지 않으면(S10-No 이면), 검출제어부(120)는 아크 의심 구간에서 아크가 발생하지 않은 것으로 최종 판단하고, 이후 획득부(110)에서 획득된 전기신호로부터 다른 아크 의심 구간을 식별하는 과정을 수행할 수 있다(S12).
- [0142] 상술한 설명에서, 단계 S1 내지 S12는 본원의 구현예에 따라서, 추가적인 단계들로 더 분할되거나, 더 적은 단계들로 조합될 수 있다. 또한, 일부 단계는 필요에 따라 생략될 수도 있고, 단계 간의 순서가 변경될 수도 있다.
- [0143] 도 10의 흐름에 대하여 다시 설명하면 다음과 같다. 복수의 타이머 구간에 대한 인덱스를 1씩 증가시키며 카운팅될 때마다, 각 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값(I_{max})과 전류 최소값(I_{min})은 각 타이머 구간마다 업데이트될 수 있다. n 번째 타이머 구간에서의 전류 차이값 I_{dif} 는 $I_{max} - I_{min}$ 에 의하여 산출될 수 있다. 복수의 타이머 구간(복수의 시간 구간)의 수인 n 값은 시간 윈도우 길이와 샘플링 빈도를 고려하여 결정될 수 있다. 예를 들어, $n = 5000$ 인 경우는 샘플링 주파수가 200kHz 일 때 시간 윈도우 길이가 25ms에 대응하는 길이에 해당될 수 있다.
- [0144] 본 장치(100)에서 웨이블릿 변환 적용시 고려되는 웨이블릿 계수(Coef)는 기본적으로 로우 패스 필터와 하이 패스 필터를 통해 신호를 전달하고 2로 다운 샘플링하는 방식을 통해 계산될 수 있다. 필터는 원본 신호의 정보가 다운 샘플링에서 손실되지 않도록 하고 역 DWT를 구현하여 계수에서 원래 신호를 완벽하게 재구성할 수 있다. 필터는 사용되는 웨이블릿에 따라 다르며 모든 레벨의 분해 전체에 동일하게 적용된다고 할 수 있다. 따라서, 본원에서는 컨벌루션 및 다운 샘플링에 의해, 시간 영역에서 마이크로 프로세서상에서의 아크 검출 알고리즘을 구현할 수 있다.
- [0145] 1차 레벨 DWT에 대해 Coef11을 획득하기 위한 필터링 과정은 2개의 현재 전류값이 획득되는 두개의 타이머 구간마다 수행될 수 있다. 검출제어부(120)는 1 차 레벨 DWT로부터 2 개의 새로운 계수(Coef11)가 얻어 질 때마다, 2 차 레벨 DWT 계수인 Coef12와 Coefh2를 계산할 수 있다. 이때, 본 장치(100)는 DWT 계수의 계산을 복수의 타이머 구간 중 짝수번째 타이머 구간마다 산출하므로, 복수의 타이머 구간 각각마다 DWT 계수를 계산하는 것 대비 계산량을 절반으로 줄일 수 있다.
- [0146] 검출제어부(120)는 복수의 타이머 구간(j 번째 타이머 구간, $j \in \{1, \dots, 5000\}$)에 대하여, 인덱스 1에 해당하는 타이머 구간부터 인덱스 5000에 해당하는 타이머 구간까지 순차적으로 카운팅을 수행할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 두번째 타이머 구간(2번째 타이머 구간, $j \in \{1, \dots, 2500\}$)에서 1차 레벨 DWT 계수를 계산할 수 있다. 또한, 검출제어부(120)는 네번째 타이머 구간(4번째 타이머 구간, $j \in \{1, \dots, 1250\}$)마다 2차 레벨 DWT 계수를 계산할 수 있다. 이 과정에서 Coef12_sum 및 Coefh2_sum이 업데이트될 수 있다.
- [0147] Coef12_sum 및 Coefh2_sum은 각각 [0 25] kHz 및 [25 50] kHz의 주파수 대역을 1250으로 나눈 주파수 대역에서 사용 가능한 모든 계수의 제곱합이라 할 수 있다. 이때, 1250이라는 값은 각 주파수 대역에 대한 하나의 시간 윈도우인 T_{sw} 에서의 2차 레벨 DWT 계수의 전체 수를 의미할 수 있다. 검출제어부(120)는 매 시간 윈도우 T_{sw} 의

마지막 타이머 구간인 5000 번째 타이머 구간에서, I_{dif} 및 $Coef12_sum$ 과 $Coefh2_sum$ 를 계산(산출)할 수 있다.

- [0148] 이후, 검출제어부(120)는 $Coef12_sum$ 과 $Coefh2_sum$ 각각의 제곱근(square root)으로서 RMS12 값과 RMS2 값을 산출할 수 있다. 이때, $Coef12$ 와 $Coefh2$ 의 제곱의 합계(sum of squares)는 RMS_{norm} 값을 산출(계산)할 수 있는 원본 데이터 포인트의 수(즉, 복수의 타이머 구간의 수)로 노멀라이즈(normalized)될 수 있다. 검출제어부(120)는 RMS12 값을 RMS2 값으로 나눔으로써 RMS_{norm} 값을 산출할 수 있다. 검출제어부(120)는 RMS_{norm} 값이 R_{th} 를 초과하고, I_{dif} 가 I_{th} 를 초과하는 경우, 아크가 발생한 것으로 판단(검출)할 수 있다. 이때, R_{th} 및 I_{th} 는 사용자 입력 등에 의하여 기 설정될 수 있다.
- [0149] 이에 따르면, 검출제어부(120)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호에 대하여 제1 임계 기울기와 제2 임계 기울기를 고려해 1차적으로 아크 의심 구간을 식별할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 1차 식별된 아크 의심 구간에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써 아크 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0150] 특히, 검출제어부(120)는 1차 식별된 아크 의심 구간에 대한 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)의 적용을 기반으로, 아크 의심 구간에서 실제 아크가 발생하였는지 여부를 판단함에 있어서, RMS_{norm} 값이 R_{th} 값을 초과하는지 여부와 전류 차이값(I_{dif})이 I_{th} 를 초과하는지 여부에 대한 2중 확인(체크)을 수행하므로, 보다 높은 신뢰도로 아크 발생 여부를 검출할 수 있다. 즉, 본원에서는 보다 신뢰도 높은 아크 발생 여부를 판단(검출)이 이루어지도록 해 정확한 아크 검출이 수행되도록 제공할 수 있다.
- [0151] 1차 식별된 아크 의심 구간에 실제 아크가 포함되어 있어 본 시스템(200) 내 아크가 발생한 것으로 검출된 경우, 검출제어부(120)는 PV 모듈들로부터 접속반(4)으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행할 수 있다. 즉, 검출제어부(120)는 아크가 검출되면 본 시스템(200) 내 공급되는 전원을 차단시키는 제어를 수행할 수 있다.
- [0152] 검출제어부(120)는 아크가 발생한 것으로 검출(판단)되면, 아크가 발생했음을 알리는 데이터를 본 장치(100)와 네트워크 통신을 통해 연결된 사용자 단말(미도시)로 제공할 수 있다. 또한, 본 장치(100)는 사용자 단말(미도시)을 통한 사용자 입력에 의해 원격으로 제어될 수 있다.
- [0153] 이에 따르면, 본원에 도시하지는 않았으나, 본 시스템(200)은 사용자 단말(미도시)을 포함할 수 있다. 본 장치(100)는 사용자 단말(미도시)과 네트워크 통신을 통해 연결되어 데이터를 송수신할 수 있다.
- [0154] 네트워크는 일례로 LTE(Long Term Evolution) 네트워크, 인터넷(Internet), LAN(Local Area Network), Wireless LAN(Wireless Local Area Network), WAN(Wide Area Network), 블루투스(Bluetooth) 네트워크, NFC(Near Field Communication) 네트워크 등이 포함될 수 있으며, 이에 한정된 것은 아니다.
- [0155] 또한, 사용자 단말(미도시)은 PCS(Personal Communication System), CDMA(Code Division Multiple Access)-2000, W-CDMA(WCode Division Multiple Access), 스마트폰(Smartphone), 스마트패드(SmartPad), 태블릿 PC, 노트북, 웨어러블 디바이스, 데스크탑 PC 등과 같은 모든 종류의 유무선 통신 장치를 포함할 수 있다.
- [0156] 또한, 검출제어부(120)는 아크가 발생한 것으로 검출되면, 아크가 발생했음을 알리는 알림을 본 장치(100) 내 포함된 스피커부(미도시)를 통해 발생시킬 수 있다. 검출제어부(120)의 제어에 의해 스피커부(미도시)는 아크가 발생했음을 알리는 알림을 경보음 등으로 출력할 수 있다.
- [0157] 초음파 획득부(140)는 접속반(4) 내에 배치된 초음파 센서(30)를 이용하여 측정된 접속반(4) 내에서 발생하는 초음파(초음파 신호)를 획득할 수 있다.
- [0158] 검출제어부(120)는 초음파 획득부(140)에서 획득된 초음파의 전압이 미리 설정된 전압 범위에 속하는 것으로 판단되면, 태양광발전시스템 내 아크가 발생한 것으로 검출할 수 있다. 여기서, 미리 설정된 전압 범위는 0 V 이상 1000mV 이하의 범위일 수 있다.
- [0159] 초음파 센서(30)는 일례로 30 kHz 내지 48 kHz 대역의 초음파를 측정(감지)할 수 있다. 검출제어부(120)는 초음파 센서(30)로부터 획득된 초음파를 분석하여, 획득된 초음파가 0 V 이상 1000mV 이하인 것으로 판단되면, 태양광발전시스템 내 아크가 발생한 것으로 검출할 수 있다.
- [0160] 이처럼, 본 장치(100)는 전류센서(10)로부터 획득된 전기신호에 대한 이산 웨이블릿 변환의 적용을 통한 전기신호의 파형 분석, 적외선 센서로부터 획득된 적외선 신호의 분석, 및 초음파 센서(30)로부터 획득된 초음파의 분

석을 이용하여, 본 시스템(200) 내에서 발생하는 아크를 보다 효과적으로 감지할 수 있다.

- [0161] 도 11은 본원의 다른 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200')의 어레이의 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0162] 도 11에 도시된 본원의 다른 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200')은 앞서 설명한 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200, 본 시스템) 대비, 전류센서의 배치 위치와 개수 등에 대해서만 차이가 있을 뿐, 앞서 설명한 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200)과 동일한 시스템일 수 있다.
- [0163] 따라서, 이하 생략된 내용이라 하더라도, 앞서 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200, 본 시스템)에 대하여 설명된 내용은 이하 본원의 다른 일 실시예에 따른 태양광발전시스템(200', 본 시스템)에 대한 설명에도 동일하게 적용될 수 있다.
- [0164] 도 11을 참조하면, 본 시스템(200')에서 전류센서는 복수 개 구비될 수 있다. 본 시스템(200')에는 복수개의 전류센서(11, 12, 13, ...)가 구비될 수 있다.
- [0165] 본 시스템(200')에서 복수 개의 전류센서(11, 12, 13, ...)는 일예로 PV 모듈들(1a, ..., 1f) 각각에 대응하도록 구비될 수 있다. 이때, 도 11의 도면 상에서는 복수 개의 전류센서로서 3개의 전류센서(11, 12, 13)만 도시하였으나, 이에 한정되는 것은 아니고, PV 모듈들(1a, ..., 1f) 각각에 대응하도록 전류센서가 복수개(예를 들어, 6개) 구비될 수 있다.
- [0166] 또한, 도 11의 예시에서는 제1 전류센서(11)가 제1 PV 모듈(1a)에 대응하도록 구비되고, 제2 전류센서(12)가 제2 PV 모듈(1b)에 대응하도록 구비되고, 제3 전류센서(13)가 제3 PV 모듈(1c)에 대응하도록 구비되는 것으로 예시하였으나, 복수의 PV 모듈에 대한 각각의 전류센서의 배치 위치는 다양하게 적용될 수 있다. 본 시스템(200')에서 복수 개의 전류센서(11, 12, 13, ...)는 각각 본 시스템(200') 내에서 서로 다른 위치에서의 전기신호를 센싱(측정)하도록 이격되어 배치될 수 있다.
- [0167] 본 시스템(200')에서 복수의 전류센서 각각에 대한 전기신호의 측정 시간 간격은 검출제어부(120)의 제어에 의해 각기 개별적으로 제어되거나 혹은 통합적으로 제어될 수 있다.
- [0168] 본 장치(100) 및 본 시스템(200, 200')은 서로 다른 종류의 복수의 센서(10, 30, 적외선 센서)를 통해 획득된 데이터에 대한 분석을 통해, 본 시스템(200, 200') 내 아크의 발생을 보다 효과적으로 감지(검출)할 수 있다.
- [0169] 앞서 본원의 일예에서는 검출제어부(120)가 웨이블릿 변환(이산 웨이블릿 변환)을 이용해 아크 발생 여부를 판단하는 것으로 예시하였으나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0170] 다른 일예로, 검출제어부(120)는 획득된 전기신호에 대한 푸리에 변환(Fourier Transform, FT)을 통해 아크의 발생 여부를 판단할 수 있다. 즉, 검출제어부(120)는 웨이블릿 변환 및 푸리에 변환 중 적어도 하나를 이용하여 아크의 발생 여부를 검출(판단)할 수 있다. 이때, 본원에서는 일예로 푸리에 변환으로서 이산 푸리에 변환(디지털 푸리에 변환), 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT), 단기 푸리에 변환(STFT) 등이 적용될 수 있으며, 이때 고속 푸리에 변환의 적용시 대역폭은 5kHz 이상 40kHz 미만 중 어느 하나의 값으로 설정될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 푸리에 변환과 관련된 구체적인 설명은 다음과 같다.
- [0171] 푸리에 변환과 관련하여, 검출제어부(120)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호에서 노이즈 등을 제거하기 위하여 대역통과필터를 적용할 수 있다. 이후 검출제어부(120)는 대역통과필터가 적용된 전기신호(이하 설명의 편의상 대역통과에 의해 필터링된 필터링 신호)에 대하여 이산 푸리에 변환(DFT, Discrete Fourier Transform)(디지털 푸리에 변환)을 수행한 후, 푸리에 변환된 신호에서 주파수의 크기 성분을 이용하여 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0172] 검출제어부(120)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호에 대해 대역통과필터를 적용한 다음, 대역통과필터가 적용된 필터링 신호에 대한 주파수 성분의 총 에너지를 이용하여 아크의 발생 여부를 판단할 수 있다. 즉, 검출제어부(120)는 대역통과필터 이후, 필터링 신호의 전체 구간에 대한 주파수 크기를 모두 합산한 총 에너지 값이 미리 설정된 총 에너지 값 이상인지로 아크의 발생 여부를 판단할 수 있다.
- [0173] 이때, 미리 설정된 총 에너지 값은 예시적으로 0.3×10^{-3} 일 수 있다. 또한, 대역통과필터는 일예로 139.6MHz 이상 252.4MHz 이하의 주파수 성분에 해당하는 신호는 통과시키고, 그보다 미만이거나 초과되는 주파수 성분을 갖는 신호는 제거하는 3차 butterworth 대역통과필터일 수 있다. 즉, 대역통과필터는 미리 설정된 주파수 대역 범위로서 일예로 139.6MHz 이상 252.4MHz 이하의 범위에 해당하는 주파수 성분을 통과시킬 수 있다.

- [0174] 검출제어부(120)는 획득부(110)에서 획득된 전기신호에 대하여 대역통과필터를 적용하여 미리 설정된 주파수 대역 범위에 해당하는 주파수 성분만 통과시킨 이후에, 통과된 신호(즉, 필터링 신호)의 전체 구간에 대한 주파수 성분의 크기를 모두 합한 총 에너지 값을 산출할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 산출된 총 에너지 값이 미리 설정된 총 에너지 값 이상이면 아크가 발생한 것으로 판단할 수 있다. 한편, 검출제어부(120)는 산출된 총 에너지 값이 미리 설정된 총 에너지 값 미만이면 아크가 발생하지 않은 것으로 판단할 수 있다.
- [0175] 보다 자세하게는, 획득부(110)에서 획득된 전기신호 중 아크가 발생하지 않은 정상 신호(No arc 신호)는 미리 설정된 주파수 대역 범위(139.6MHz 이상 252.4MHz 이하의 범위)에 대한 고조파 성분이 발생하지 않는 반면, 아크가 발생된 신호(arc 신호)는 미리 설정된 주파수 대역 범위에 대한 고조파 성분이 크게 발생할 수 있다.
- [0176] 이에, 본 장치(100)에서는 미리 설정된 주파수 대역 범위에서 아크가 발생한 신호만이 나타남을 고려하여, 획득부(110)에서 획득된 전기신호에 대하여 미리 설정된 주파수 대역 범위에 해당하는 주파수 성분을 통과시키는 대역통과필터를 적용할 수 있다.
- [0177] 대역통과필터가 적용된 아크가 발생하지 않은 정상 신호(No arc 신호)(즉, 정상 신호에 대응하는 필터링 신호)는 그래프 상에 거의 나타나지 않는데 반해, 대역통과필터가 적용된 아크 발생 신호(즉, 아크 신호에 대응하는 필터링 신호)는 그래프 상에서 명확히 나타나게 된다.
- [0178] 이에 따르면, 획득부(110)에서 획득된 전기신호에 미리 설정된 주파수 대역 범위를 통과시키는 대역통과필터를 적용하면, 필터링 신호로서 아크 신호에 대응하는 주파수 성분을 획득할 수 있다. 이에 따라, 검출제어부(120)는 필터링 신호의 전체 구간에 대한 주파수 성분의 크기를 모두 합한 총 에너지 값이 미리 설정된 총 에너지 값 이상이면 아크가 발생한 것으로 판단할 수 있다.
- [0179] 이처럼, 본 장치(100)는 웨이블릿 변환 및 푸리에 변환 중 적어도 하나를 이용하여 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0180] 또한, 도면에 도시하지는 않았으나, 본 장치(100)는 접속반(4) 내 배치된 적외선 센서(미도시)를 이용하여 측정된 접속반(4) 내부의 단자 접속부에 대한 적외선 신호를 획득하는 적외선 획득부(미도시)를 포함할 수 있다.
- [0181] 여기서, 적외선 센서(미도시)는 접속반(4) 내부의 단자 접속부로서, 접속반(4) 내 PV 모듈(특히, 복수의 PV 모듈 중 일부의 PV 모듈)과 연결된 전선이 접속되는 전선(케이블) 접속부 및 PV 모듈로부터 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 차단기(미도시)가 연결되는 차단기 연결 단자 접속부 중 적어도 하나에 대하여 적외선 신호를 조사(방사, 방출)할 수 있다. 적외선 센서(미도시)는 접속반(4) 내부의 단자 접속부에 대하여 적외선 신호의 조사가 가능하도록, 접속반(4) 내에 단자 접속부에 대응하도록 배치될 수 있다.
- [0182] 검출제어부(120)는 적외선 센서(미도시)로부터 획득된 적외선 신호의 분석을 통해 접속반(4) 내부의 단자 접속부의 온도를 검출할 수 있다.
- [0183] 검출제어부(120)는 검출된 온도가 제1 임계 온도 이상인지 판단할 수 있다. 판단결과, 검출된 온도가 제1 임계 온도 이상이면, 검출제어부(120)는 일예로 본 시스템(200)에 아크가 발생할 가능성이 높은 것으로 판단하여 전류센서(10)를 통한 전기신호에 대한 측정이 보다 자주 이루어지도록, 전류센서(10)에 의한 전기신호(전류신호)의 측정 시간 간격을 현재 설정값인 제1 값보다 더 짧은 값인 제2 값으로 조정(변경)되도록 제어할 수 있다.
- [0184] 즉, 검출제어부(120)는 적외선 획득부(미도시)에서 획득된 적외선 신호의 분석을 기반으로 검출된 단자 접속부의 온도에 따라 전류센서(10)에 의한 전기신호의 측정 시간 간격이 조정되도록 제어할 수 있다. 이때, 검출제어부(120)는 단자 접속부의 온도가 임계 온도(특히, 제1 임계 온도) 이상인 경우, 전류센서(10)에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 현재 설정값인 제1 값보다 짧은 제2 값으로 변경되도록 제어할 수 있다. 여기서, 임계 온도(제1 임계 온도, 후술하는 제2 임계 온도 등)는 일예로 사용자 입력에 의하여 미리 설정될 수 있다.
- [0185] 또한, 검출제어부(120)는 검출된 온도가 제1 임계 온도 이상이면, 접속반(4) 내/외로 바람이 순환되도록 접속반(4)에 구비된 순환팬(미도시)을 동작을 제어할 수 있다. 이러한 검출제어부(120)의 제어에 의해, 접속반(4) 내부의 현재 온도를 낮추어 태양광발전시스템(200), 특히 접속반(4)에서의 화재 위험을 줄일 수 있다. 여기서, 순환팬(미도시)은 접속반(4) 내부의 공기를 접속반(4) 외부로 배출하거나 접속반(4) 외부의 공기를 접속반(4) 내부로 유입 가능하도록, 접속반(4)에 구비될 수 있다.
- [0186] 다른 일예로, 검출제어부(120)는 검출된 온도가 제2 임계 온도 이상인지 판단할 수 있다. 판단결과, 검출된 온도가 제2 임계 온도 이상이면, 검출제어부(120)는 태양광발전시스템(200) 혹은 접속반(4)에서의 화재 위험이 높은 것으로 판단하여, 접속반(4)으로 공급되는 전기신호의 공급이 차단되도록 차단기(미도시)의 동작을 제어할

수 있다. 여기서, 제2 임계 온도는 제1 임계 온도보다 큰 값(높은 온도 값)을 가지도록 설정될 수 있다.

- [0187] 검출제어부(120)는 적외선 신호의 분석을 기반으로 검출된 단자 접속부의 온도(즉, 단자 접속부에 대하여 검출된 온도)가 큰 값을 가질수록, 그로 인해 본 시스템(200)에 아크가 발생할 가능성이 높은 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라, 검출제어부(120)는 검출된 단자 접속부의 온도가 제1 임계 온도 이상이면, 단자 접속부의 온도가 제1 임계 온도 미만인 경우 대비, 단자 접속부로 인하여 본 시스템(200)에 아크가 발생할 가능성이 높은 것으로 판단하여 전기신호에 대한 측정이 더 자주 이루어지도록 할 수 있다.
- [0188] 검출제어부(120)는 적외선 신호의 분석을 통해 검출된 단자 접속부의 온도가 제1 임계 온도 이상이면, 전류센서(10)에 의한 전기신호(전류신호)의 측정 시간 간격(혹은 획득부가 획득하는 전기신호의 획득 시간 간격)이 일예로 현재 설정값인 제1 값(예를 들어, 0.01초)보다 더 짧은 값인 제2 값(예를 들어, 0.001초)으로 조정(변경)되도록 제어할 수 있으며, 이를 통해 전기신호에 대한 측정이 더 자주 이루어지도록 할 수 있다.
- [0189] 나아가, 검출제어부(120)는 검출된 단자 접속부의 온도가 제1 임계 온도 보다 높은 제2 임계 온도 이상이면, 단자 접속부의 온도가 제2 임계 온도 미만인 경우(특히, 제1 임계 온도 이상 제2 임계 온도 미만인 경우)와 대비하여, 태양광발전시스템(200) 혹은 접속반(4)에서 아크의 발생으로 인한 화재 발생 위험이 높은 것으로 판단하여, 접속반(4)으로 공급되는 전기신호의 공급이 차단되도록 차단기(미도시)의 동작을 제어할 수 있다.
- [0190] 이처럼, 본 장치(100)는 적외선 센서(미도시)를 통해 검출된 단자 접속부의 온도의 변화에 대한 분석을 통해 아크 발생 위험성 수준, 즉 아크 발생 확률(가능성) 내지 화재 발생 확률(가능성)을 파악하고, 이에 기초하여 전류센서(10)에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 조정할 수 있다.
- [0191] 한편, 본 시스템(200)은 일예로 복수 개의 전류센서 각각에 대응하도록 구비되는 복수 개의 적외선 센서(즉, 제1 적외선 센서, 제2 적외선 센서, 제3 적외선 센서, ...)를 포함할 수 있다.
- [0192] 일예로, 제1 전류센서에 대응하는 제1 적외선 센서는 접속반(4) 내에서, 복수 개의 PV 모듈(PV 모듈들)(1a, ..., 1f) 중 어느 한 PV 모듈과 연결된 전선(제1 전선)이 접속되는 제1 전선 접속부에 대하여 적외선 신호의 조사가 가능하도록, 접속반(4) 내부에 단자 접속부로서 제1 전선 접속부에 대응하도록 배치될 수 있다. 이때, 도 11의 도면을 기준으로, 예시적으로 제1 전선과 연결된 어느 한 PV 모듈은 제6 PV 모듈(1f)일 수 있고, 제1 적외선 센서에 대응하는 제1 전류센서는 제6 PV 모듈(1f)에 대응하도록 구비되는 전류센서일 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0193] 또한, 제2 전류센서에 대응하는 제2 적외선 센서는 접속반(4) 내에서, 복수 개의 PV 모듈(PV 모듈들)(1a, ..., 1f) 중 상기 어느 한 PV 모듈과는 다른 어느 한 PV 모듈과 연결된 전선(제2 전선)이 접속되는 제2 전선 접속부에 대하여 적외선 신호의 조사가 가능하도록, 접속반(4) 내부에 단자 접속부로서 제2 전선 접속부에 대응하도록 배치될 수 있다. 이때, 도 11의 도면을 기준으로, 예시적으로 제2 전선과 연결된 다른 어느 한 PV 모듈은 제3 PV 모듈(1c)일 수 있고, 제2 적외선 센서에 대응하는 제2 전류센서는 제3 PV 모듈(1c)에 대응하도록 구비되는 전류센서일 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0194] 또한, 제3 전류센서(13)에 대응하는 제3 적외선 센서는 접속반(4) 내에서, PV 모듈로부터 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 차단기(미도시)가 연결되는 차단기 연결 단자 접속부에 대하여 적외선 신호의 조사가 가능하도록, 접속반(4) 내부에 단자 접속부로서 차단기 연결 단자 접속부에 대응하도록 배치될 수 있다. 또한, 예시적으로 제3 적외선 센서에 대응하는 제3 전류센서는 차단기(미도시)에 연결된 전선(이는, 복수의 PV 모듈 중 일부의 PV 모듈과 차단기 사이를 연결하는 복수의 전선 중 적어도 하나의 전선을 의미할 수 있음) 상에 구비되는 전류센서일 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0195] 이에 따르면, 검출제어부(120)는 복수 개의 적외선 센서(즉, 제1 적외선 센서, 제2 적외선 센서, 제3 적외선 센서, ...) 각각으로부터 획득된 적외선 신호의 분석을 통해 검출된 단자 접속부 각각의 온도가 임계 온도(즉, 제1 임계 온도 혹은 제2 임계 온도) 이상인지 여부를 판단할 수 있다. 판단 결과에 따라 검출제어부(120)는 복수 개의 적외선 센서 각각에 대응하는 전류센서 각각에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 조정(변경)하는 제어를 수행할 수 있다.
- [0196] 즉, 검출제어부(120)는 복수 개의 적외선 센서(제1 적외선 센서, 제2 적외선 센서, 제3 적외선 센서 등) 각각으로부터 획득된 적외선 신호의 분석을 통해 검출된 각각의 단자 접속부의 온도(즉, 제1 전선 접속부의 온도, 제2 전선 접속부의 온도, 차단기 연결 단자 접속부의 온도 등)에 따라, 각 적외선 센서에 대응하는 복수 개의 전류센서 각각에 대한 전기신호의 측정 시간 간격을 각기 다르게 제어할 수 있다.

- [0197] 구체적 예로, 제1 적외선 센서로부터 획득된 적외선 신호의 분석을 기반으로 검출된 제1 전선 단자 접속부의 온도가 제1 임계 온도 이상 제2 임계 온도 미만의 온도 값들 중 어느 하나로서 제1 온도 값을 가진다고 하자. 또한, 제2 적외선 센서로부터 획득된 적외선 신호의 분석을 기반으로 검출된 제2 전선 단자 접속부의 온도가 제1 임계 온도 이상 제2 임계 온도 미만의 온도 값들 중 어느 하나로서 제1 온도 값 보다 큰 제2 온도 값을 가진다고 하자. 또한, 제3 적외선 센서로부터 획득된 적외선 신호의 분석을 기반으로 검출된 차단기 연결 단자 접속부의 온도가 제2 임계 온도 이상인 제3 온도 값을 가진다고 하자.
- [0198] 이러한 경우, 검출제어부(120)는 제1 적외선 센서(제1 전선 단자 접속부의 온도 획득이 가능한 제1 적외선 센서)에 대응하는 제1 전류센서에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 현재 설정값인 제1 값보다 짧은 제2 값으로 변경되도록 제어할 수 있다.
- [0199] 또한, 제1 단자 접속부의 온도인 제1 온도 값보다 제2 전선 단자 접속부의 온도인 제2 온도 값이 더 큰 값을 가지므로, 검출제어부(120)는 본 시스템(200)에서 제1 전선 단자 접속부에 의한 아크 발생 가능성보다 제2 전선 단자 접속부에 의한 아크 발생 가능성이 더 높은 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라, 검출제어부(120)는 제2 적외선 센서(제2 전선 단자 접속부의 온도 획득이 가능한 제2 적외선 센서)에 대응하는 제2 전류센서에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 현재 설정값인 제1 값보다 짧은 제3 값으로 변경되도록 제어할 수 있다. 이때, 제3 값은 제1 전류센서에 대하여 변경된 전기신호의 측정 시간 간격인 제2 값 보다도 더 짧은 값일 수 있다.
- [0200] 또한, 차단기 연결 단자 접속부의 온도인 제3 온도 값보다 제2 전선 단자 접속부의 온도인 제2 온도 값이 더 큰 값을 가지므로, 검출제어부(120)는 본 시스템(200)에서 제2 전선 단자 접속부에 의한 아크 발생 가능성보다 차단기 연결 단자 접속부에 의한 아크 발생 가능성이 더 높은 것으로 판단할 수 있다. 이에 따라, 검출제어부(120)는 제3 적외선 센서(차단기 연결 단자 접속부에 대응하는 제3 적외선 센서)에 대응하는 제3 전류센서에 의한 전기신호의 측정 시간 간격을 현재 설정값인 제1 값보다 짧은 제4 값으로 변경되도록 제어할 수 있다. 이때, 제4 값은 제2 전류센서에 대하여 변경된 전기신호의 측정 시간 간격인 제3 값 보다도 더 짧은 값일 수 있다.
- [0201] 즉, 전류센서에 의한 전기신호의 측정 시간 간격과 관련하여 상술한 제1 값, 제2 값, 제3 값 및 제4 값은 '제1 값 > 제2 값 > 제3 값 > 제4 값'의 관계를 가질 수 있다.
- [0202] 예시적으로, 제1 값이 0.01초인 경우, 제2 값은 0.001초이고, 제3 값은 0.0001초, 제4 값은 0.00001초일 수 있다. 이러한 수치 예시는 본원의 이해를 돕기 위한 하나의 예시일 뿐, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0203] 이에 따르면, 검출제어부(120)는 제2 전류센서에서의 전기신호의 측정이 제1 전류센서에서의 전기신호의 측정보다 상대적으로 더 자주 측정되도록 설정할 수 있다. 또한, 제3 전류센서에서의 전기신호의 측정이 제2 전류센서에서의 전기신호의 측정보다 상대적으로 더 자주 측정되도록 설정할 수 있다.
- [0204] 이처럼, 검출제어부(120)는 복수 개의 적외선 센서를 이용하여 획득된 각각의 단자 접속부의 온도에 따라, 적외선 센서 각각과 대응되는 복수 개의 전류센서 각각에 대한 전기신호의 측정 시간 간격을 각기 다르게 제어할 수 있다.
- [0205] 도 12는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 고려되는 적외선 센서(적외선온도센서)의 회로도의 예를 나타낸 도면이다.
- [0206] 도 12를 참조하면, 본 시스템(200) 내 접속반(4)에는 접속반(4) 내부의 온도(특히, 접속반 내부의 단자 접속부의 온도)를 검출하기 위한 적외선 센서(미도시)가 구비될 수 있다.
- [0207] 적외선 센서는 단일 엘리먼트에 의한 단일 지점의 온도를 검출하고 또는 선택적으로 멀티 어레이 영역의 온도를 검출할 수 있는 센서 엘리먼트를 이용하여 다 지점의 온도를 측정할 수 있는 구조로 마련될 수 있으며, 온도를 주파수 변조하여 출력하도록 마련될 수 있다.
- [0208] 적외선 센서는 일예로 -30 °C 이상 + 500 °C 사이의 접속반 내부의 단자 접속부의 온도를 측정할 수 있는 적외선 엘리먼트(element)에 레퍼런스(reference) 출력 1.225 Vdc와 측정된 온도 계수에 따라 온도에 비례하는 단일 또는 다 지점의 온도를 아날로그 출력을 내보내는 회로와 연결될 수 있다.
- [0209] 온도 측정 감도는 15 mV/°C 일 수 있다. 본 시스템(200)에는 적외선 센서의 전원선과 출력 신호선의 4가닥의 선을 2가닥의 선으로 줄인 적외선 센서의 회로도가 적용될 수 있다. 이를 통해, 본원은 다수의 센서 연결선에 대한 접속반(4) 내 배선의 복잡성을 감소시키고, 그에 따른 외부 노이즈가 감소되도록 할 수 있다. 적외선 센서의 전압 신호는 주파수로 변환되고 전원 라인에 캐리어를 실어 2가닥으로 전송될 수 있다.

- [0210] 또한, 본 시스템(200)은 아크에 의해 발생하는 자외선을 감지하는 자외선 감지 센서(미도시)를 포함할 수 있다. 자외선 감지 센서는 접속반(4) 내에서 아크에 의해 발생하는 자외선을 감지할 수 있다. 자외선 감지 센서는 자외선을 감지하는 자외선 포토 다이오드로 이루어질 수 있다.
- [0211] 자외선 감지 센서(미도시)는 접속반(4)의 일영역에 구비될 수 있으며, 검출제어부(120)는 자외선 감지 센서(미도시)에 의하여 측정된 자외선 신호의 분석을 통해 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0212] 도 13은 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 고려되는 자외선 감지 센서를 이용한 아크 검출 회로도의 예를 나타낸 도면이다. 즉, 도 13은 자외선 감지 센서로부터 획득된 자외선 신호의 분석을 통해 아크 발생 여부를 검출하는 검출제어부(120)의 일부 회로 구성을 나타낸 도면이다.
- [0213] 도 13을 참조하면, 자외선 감지 센서(미도시)에서 미약한 자외선 영역의 파장 신호는 U2A(LM2904)로 증폭되고 증폭된 신호는 U2B의 컴퍼레이터(comparator)에 구성된 R7, R8의 레퍼런스 레벨보다 더 큰 신호가 들어올 경우에만 로직 변환 신호가 출력되도록 구성될 수 있다.
- [0214] U2B의 출력신호(ARC_INT)는 U3(CPU)에 인터럽트 방식으로 입력되어 카운트되게 되며, 아크로 판별될 경우에는 발생한 아크의 카운트수가 보관(저장)될 수 있다. 한편, RS-485로 연결된 데이터라인(D+, D-)으로 HMI에서의 호출이 있을때는 U4(RS-485 CONVERTOR)를 통해 U3(CPU)에 호출됨을 알리고 U3는 현재까지 모아둔 아크 발생 유무의 결과를 RS-485 통신 라인으로 본 장치(100)의 검출제어부(120)로 전송할 수 있다.
- [0215] 또한, R5, R10은 일예로 자외선 감지 센서의 아날로그 신호만 필요할 경우에 사용하기 위해 연결된 신호이며, 디지털 신호 처리 모듈의 CPU 모드로 사용할 때에는 고려되지 않을 수 있다. HMI 연결 케이블은 4선(V+, GND, D+, D-)으로 연결되며, 다양한 환경에서 MOD-BUS 프로토콜로 구성된 통신 프로그램으로 아크 신호의 상태를 판별할 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0216] 본 장치(100)에서는 검출제어부(120)가 자외선 감지 센서의 신호 분석에 기반한 아크 발생 여부의 검출에 대한 오류를 방지하기 위해, 일예로 R7, R8로 이루어진 레퍼런스 레벨로 입력이 미약한 경우를 제외할 수 있다. 또한, 아크 발생 여부의 검출 오류를 방지하기 위해, 본 장치(100)는 아크가 발생한 횟수를 카운팅하여 미리 설정된 횟수(일예로, 5회 등) 이상으로 아크가 발생한 것으로 카운팅되는 경우, 최종적으로 아크가 발생한 것으로 검출할 수 있다.
- [0217] 도 14는 본원의 일 실시예에 따른 아크 검출 장치(100)에서 고려되는 자외선 감지 센서의 회로도의 예를 나타낸 도면이다. 특히 도 14에는 자외선 감지 센서 중 자외선 포토 다이오드(UV sensor)를 이용한 회로가 도시되어 있다.
- [0218] 도 14를 참조하면, 자외선 포토 다이오드는 자외선을 그 양에 비례하는 소전류로 변환하도록 이루어질 수 있다. 자외선 포토 다이오드는 소전류를 생성하며 일반적으로 자외선의 세기에 비례하여 수 nA 정도의 전류 정도를 생성할 수 있다. 도 14의 회로는 트랜스임피던스 증폭기(transimpedance amplifier)의 회로 구성으로서, 이는 이러한 소전류를 적절한 전압으로 변환하는 데 이용되며, 마이크로컨트롤러(microcontroller)의 ADC(analog-to-digital converter)에 의해 전환될 수 있다.
- [0219] 검출제어부(120)는 자외선 감지 센서로부터 자외선 신호(특히, 자외선 포토 다이오드에 의해 생성된 전류신호)를 획득할 수 있다. 이후, 검출제어부(120)는 획득된 자외선 신호를 저항 Rf에 따른 소정의 전압으로 변환할 수 있다.
- [0220] 본 시스템(200)에는 자외선 감지 센서(미도시)와 관련하여, 일예로 GUYA-C22SD라는 자외선 포토 다이오드가 적용될 수 있다. GUYA-C22SD는 26 nA/UV index의 전류를 전달하며, Rf는 8.2 M Ω, Cf는 10 pF가 이용될 수 있다. 이에 따르면, 자외선의 감지량에 따라 출력 전압 Vout이 일예로 26 nA*4*8.2에 의해 852.8 mV이므로, 자외선 포토 다이오드 GUYA-C22SD는 4 index의 자외선을 감지할 수 있다.
- [0221] 본 장치(100)는 기울기를 기반으로 1차적으로 식별된 아크 의심 구간에 한하여 웨이블릿 변환을 적용하여 아크 발생 여부를 검출함으로써, 종래의 아크 검출 기술들 대비 연산량을 효과적으로 줄여 아크가 발생했는지 여부를 빠르게 식별할 수 있으며, 나아가 다양한 센서와의 접목을 통해 아크 발생 확률(가능성)을 파악하여 전류센서의 측정 시간 간격을 상황에 따라 조정함으로써, 아크 발생으로 인한 화재를 미연에 방지할 수 있다.
- [0222] 이하에서는 상기에 자세히 설명된 내용을 기반으로, 본원의 동작 흐름을 간단히 살펴보기로 한다.
- [0223] 도 15는 본원의 일 실시예에 따른 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법에 대한 동작 흐름도이다. 특히, 도 15에

도시된 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법은 태양광발전시스템 내 웨이블릿 변환 기반 아크 검출 방법을 의미할 수 있다.

- [0224] 도 15에 도시된 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법은 앞서 설명된 본 장치(100)에 의하여 수행될 수 있다. 따라서, 이하 생략된 내용이라고 하더라도 본 장치(100)에 대하여 설명된 내용은 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법에 대한 설명에도 동일하게 적용될 수 있다.
- [0225] 도 15를 참조하면, 단계S21에서는 획득부가 태양광발전시스템 내 PV 모듈들과 접속반 사이에 배치된 전류센서를 통해 측정된 전기신호를 획득할 수 있다.
- [0226] 다음으로, 단계S22에서는 검출제어부가, 단계S21에서 획득된 전기신호를 웨이블릿 변환하여 분석함으로써 태양광발전시스템 내 아크의 발생 여부를 검출하고, 아크가 발생한 것으로 검출되면 PV 모듈들에서 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행할 수 있다.
- [0227] 단계S22에서 검출제어부는, 단계S21에서 획득된 전기신호의 구간 중 기설정된 조건을 충족하는 아크 의심 구간을 1차로 식별하고, 식별된 아크 의심 구간에 대하여 상기 웨이블릿 변환으로서 이산 웨이블릿 변환을 적용하여 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0228] 여기서, 아크 의심 구간은 단계S21에서 획득된 전기신호의 구간 중 전류신호에 대하여 기 설정된 임계 기울기(제1 임계 기울기와 제2 임계 기울기)로 식별되는 구간을 의미할 수 있다. 아크 의심 구간은, 단계S21에서 획득된 전기신호의 구간 중 미리 설정된 시간 구간에서의 기울기가 제1 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점부터 미리 설정된 시간 구간에서의 기울기가 제2 임계 기울기 이상으로 나타나는 시점까지 속한 구간일 수 있다. 여기서, 제1 임계 기울기 및 제2 임계 기울기는 절대값 크기가 같되, 부호가 반대일 수 있다.
- [0229] 또한, 단계S22에서 검출제어부는, 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 특성에 따라 복수의 모 웨이블릿 유형 중 어느 하나의 모 웨이블릿을 선택적으로 선택하고, 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 이용해 상기 이산 웨이블릿 변환을 수행할 수 있다. 여기서, 어느 하나의 모 웨이블릿은, 복수의 모 웨이블릿 유형 중에서 식별된 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호의 모양과의 유사도가 미리 설정된 유사도 값 이상에 속한 후보 모 웨이블릿 중 어느 하나로 선택될 수 있다.
- [0230] 또한, 단계S22에서 검출제어부는, 아크 의심 구간에 대응하는 전기신호를 선택된 어느 하나의 모 웨이블릿을 사용하여 기 설정된 주파수 대역을 갖는 복수의 레벨까지 분해하는 이산 웨이블릿 변환을 적용함으로써 아크의 발생 여부를 검출할 수 있다.
- [0231] 또한, 단계S22에서 검출제어부는, 아크 의심 구간을 복수의 타이머 구간으로 분할하고, 이산 웨이블릿 변환의 적용을 기반으로, 복수의 타이머 구간의 인덱스를 1씩 증가시키며 카운트하여 복수의 타이머 구간 중 두번째 타이머 구간마다 1차 레벨 DWT 계수(Coef11)를 계산하고 복수의 타이머 구간 중 네번째 타이머 구간마다 2차 레벨 DWT 계수(Coef12 Coefh2)를 계산할 수 있다. 또한, 검출제어부는 복수의 타이머 구간 중 마지막 번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어지면, 1차 레벨 DWT 계수와 2차 레벨 DWT 계수를 이용하여 RMS_{norm} 값을 산출할 수 있다. 또한, 검출제어부는 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면 아크 의심 구간을 아크 발생 후보 구간으로 식별할 수 있다.
- [0232] 또한, 단계S22에서 검출제어부는, 인덱스가 1씩 증가될 때마다 각 타이머 구간에서 고려되는 전류 최대값과 전류 최소값을 업데이트할 수 있다. 이때, 검출제어부는 마지막 번째 타이머 구간에 대한 카운팅이 이루어졌을 때 마지막 번째 타이머 구간에서의 전류 최대값과 전류 최소값 간의 차이에 해당하는 전류 차이값을 산출할 수 있다.
- [0233] 이후, 단계S22에서 검출제어부는, 산출된 RMS_{norm} 값이 미리 설정된 RMS 임계값을 초과하면서, 산출된 전류 차이값이 미리 설정된 전류 임계값을 초과하면, 아크 발생 후보 구간에서 아크가 발생한 것으로 인식하여 태양광발전시스템 내에 아크가 발생한 것으로 최종 검출할 수 있다.
- [0234] 다음으로, 단계S23에서 검출제어부는, 단계S22에서 아크가 발생한 것으로 검출되면, PV 모듈들에서 접속반으로의 전기신호의 공급을 차단하는 제어를 수행할 수 있다.
- [0235] 다음으로, 단계S23 이후에, 단계S26에서 초음파 획득부는, 접속반 내에 배치된 초음파 센서를 이용하여 측정된 접속반 내에서 발생하는 초음파를 획득할 수 있다.
- [0236] 이후, 단계S27에서 검출제어부는, 단계S26에서 획득된 초음파의 전압이 미리 설정된 전압 범위에 속하는 것으로

판단되면, 태양광발전시스템 내 아크가 발생한 것으로 검출할 수 있으며, 이후 단계S23을 수행할 수 있다.

[0237] 상술한 설명에서, 단계 S21 내지 S27은 본원의 구현예에 따라서, 추가적인 단계들로 더 분할되거나, 더 적은 단계들로 조합될 수 있다. 또한, 일부 단계는 필요에 따라 생략될 수도 있고, 단계 간의 순서가 변경될 수도 있다.

[0238] 본원의 일 실시 예에 따른 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0239] 또한, 전술한 태양광발전시스템 내 아크 검출 방법은 기록 매체에 저장되는 컴퓨터에 의해 실행되는 컴퓨터 프로그램 또는 애플리케이션의 형태로도 구현될 수 있다.

[0240] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

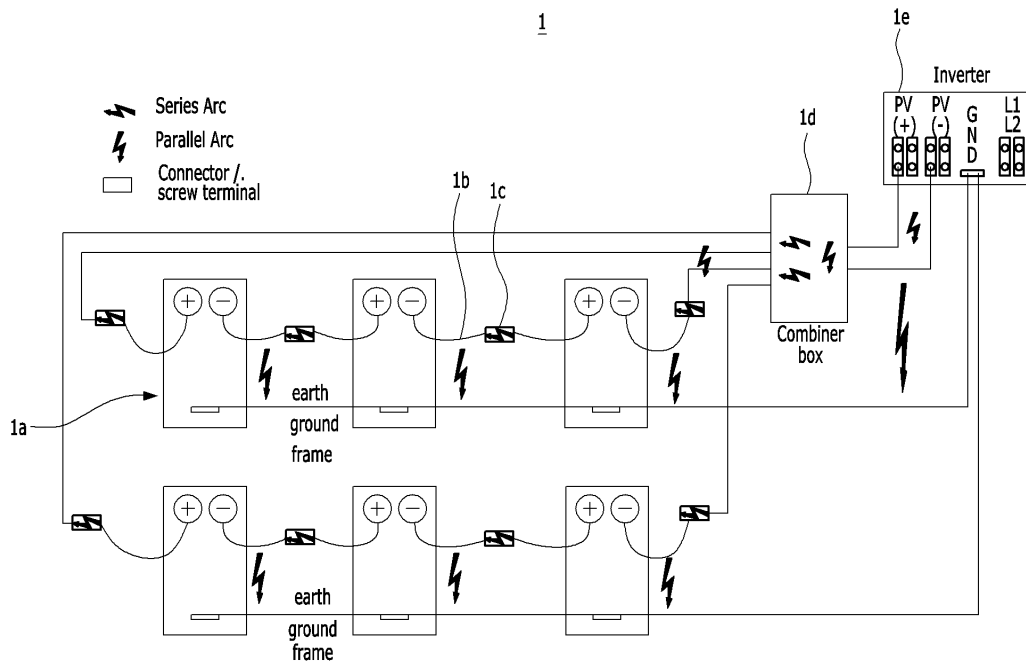
[0241] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

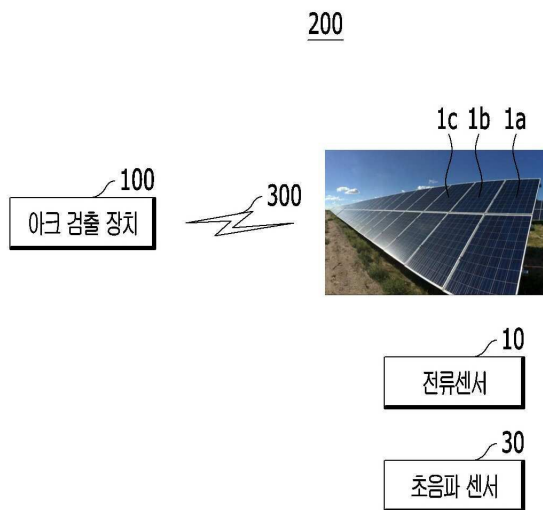
- [0242] 200, 200': 태양광발전시스템
- 100: 아크 검출 장치
- 110: 획득부
- 120: 검출제어부
- 140: 초음파 획득부
- 10: 전류센서
- 30: 초음파 센서

도면

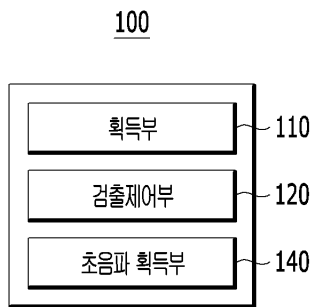
도면1



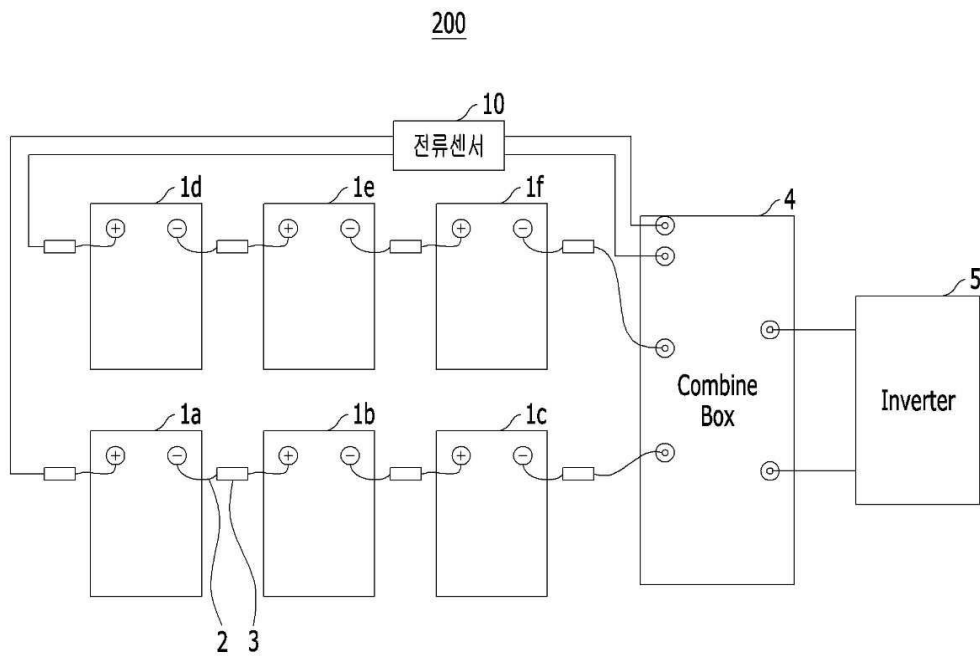
도면2



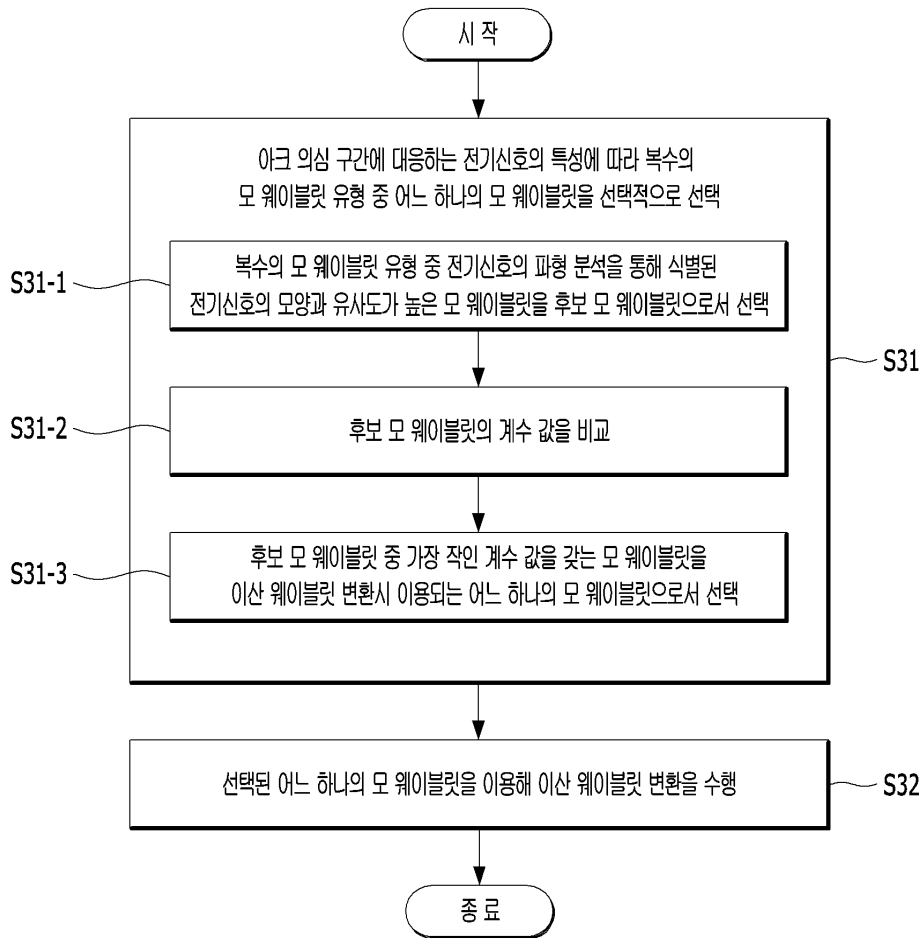
도면3



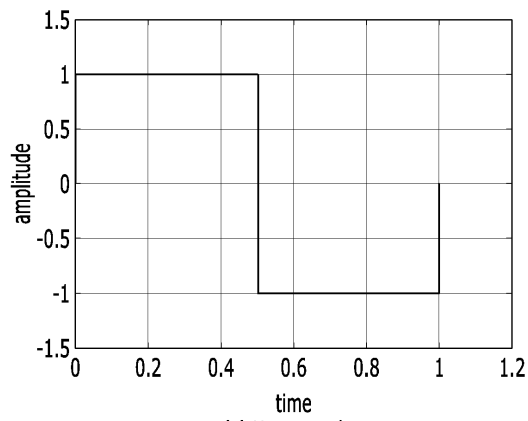
도면4



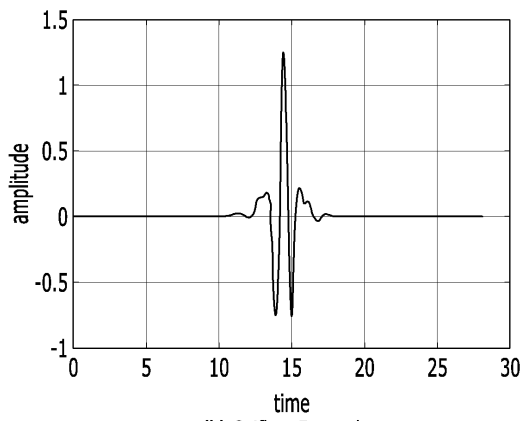
도면5a



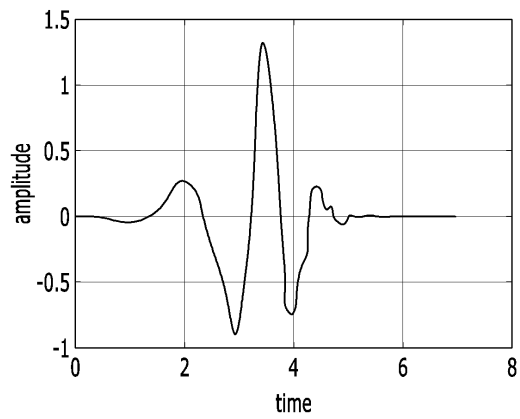
도면5b



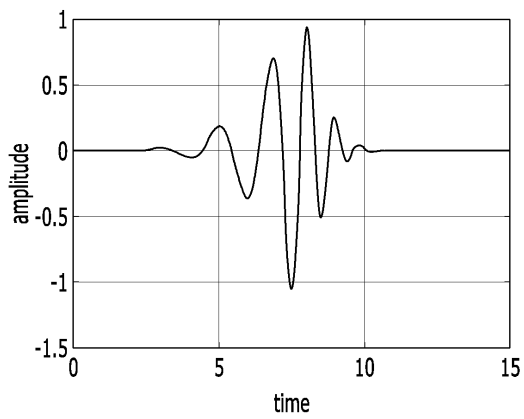
(a) Haar wavelet.



(b) Coiflets 5 wavelet.

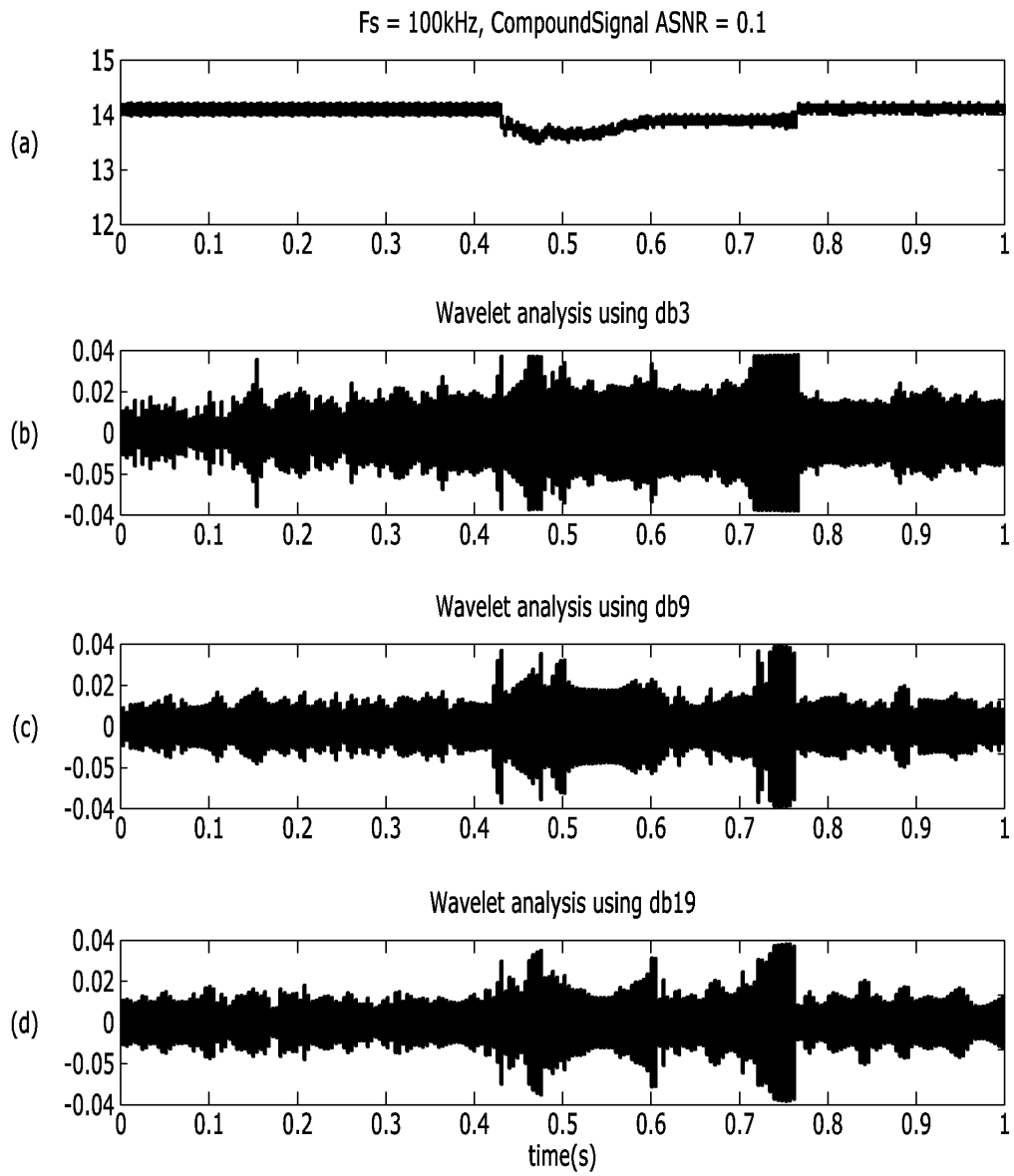


(c) Daubechies(db) 4 wavelet.

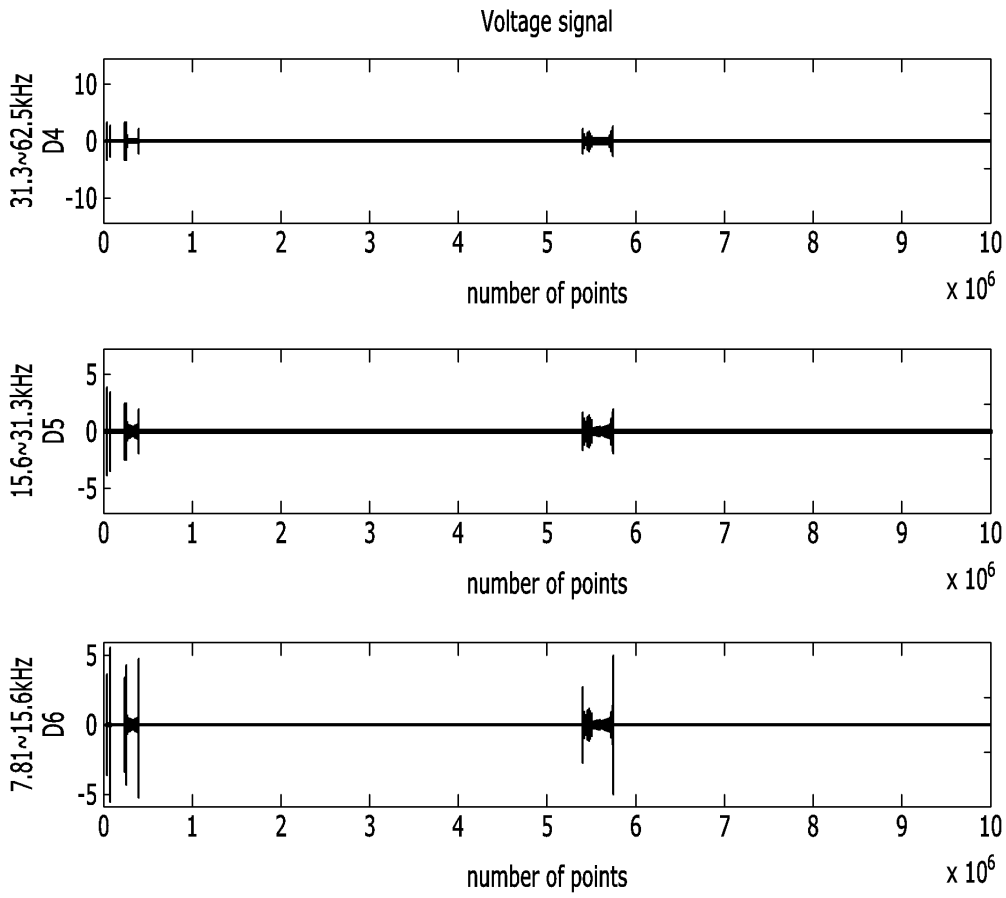


(d) Daubechies(db) 8 wavelet.

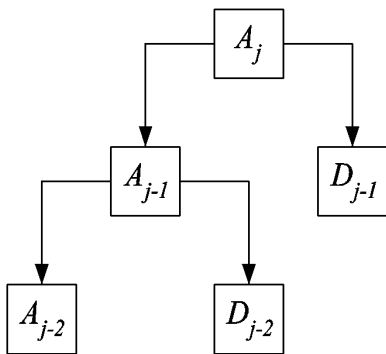
도면6



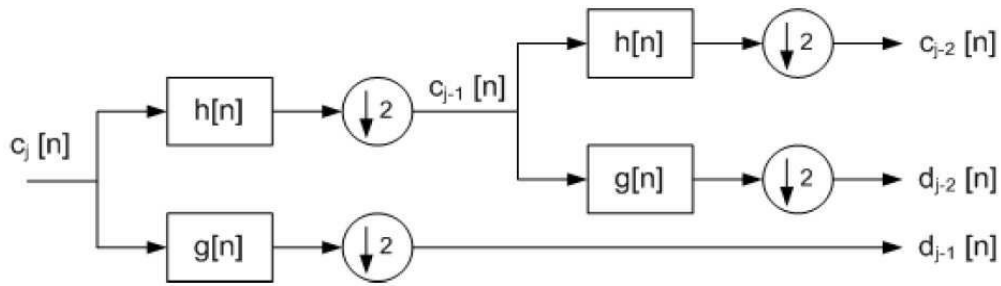
도면7



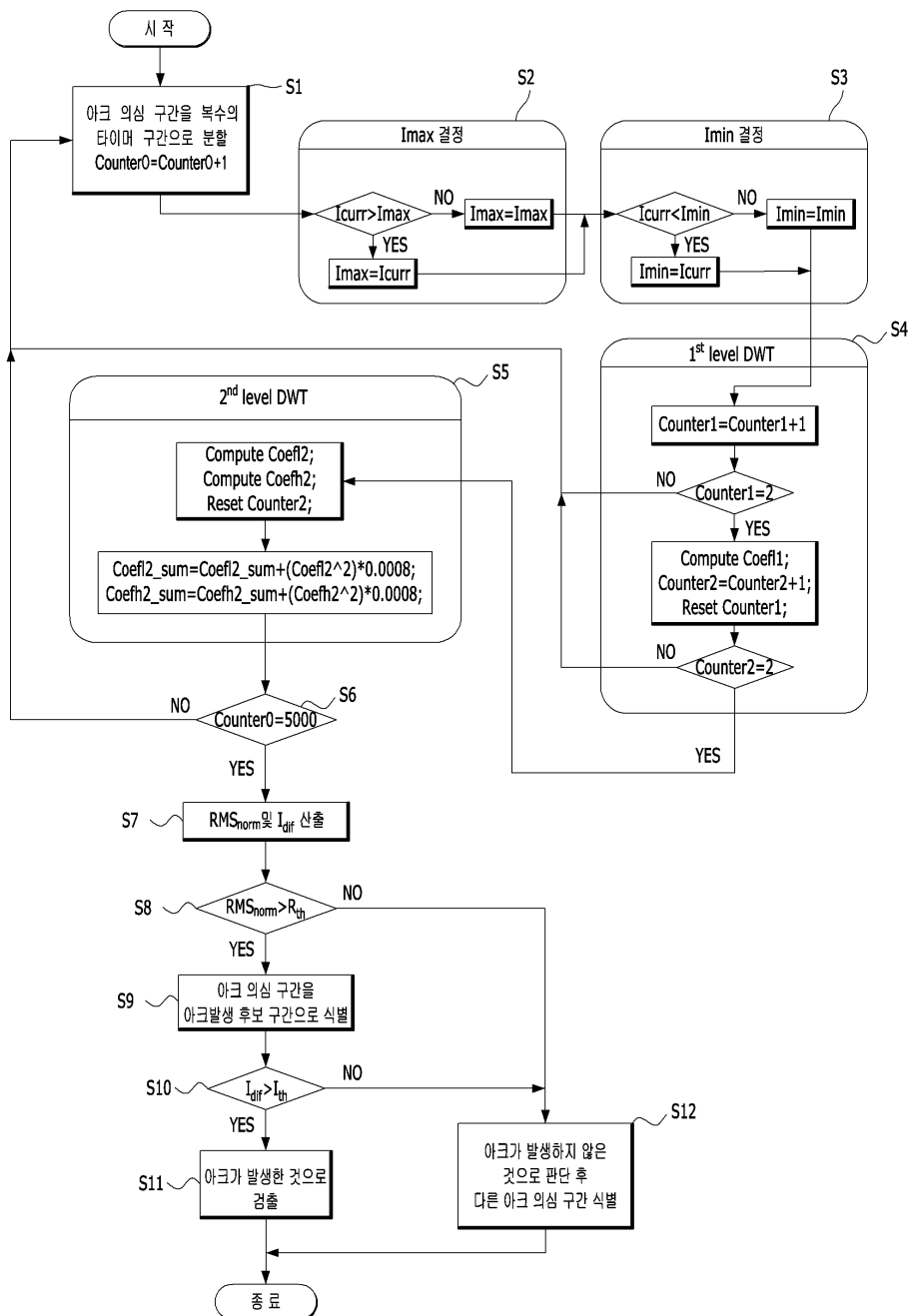
도면8



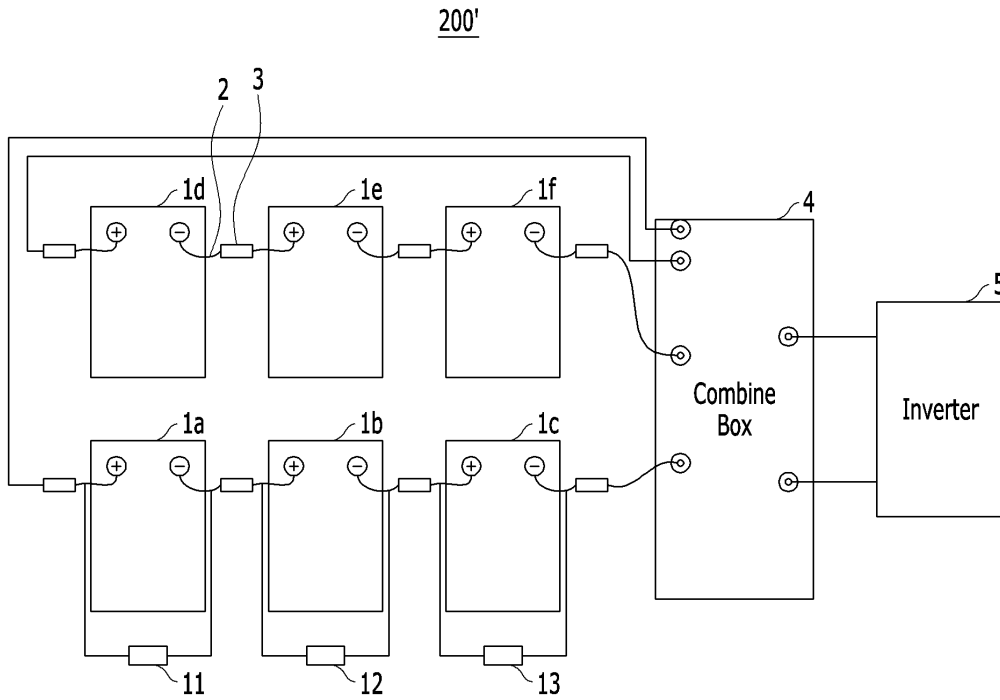
도면9



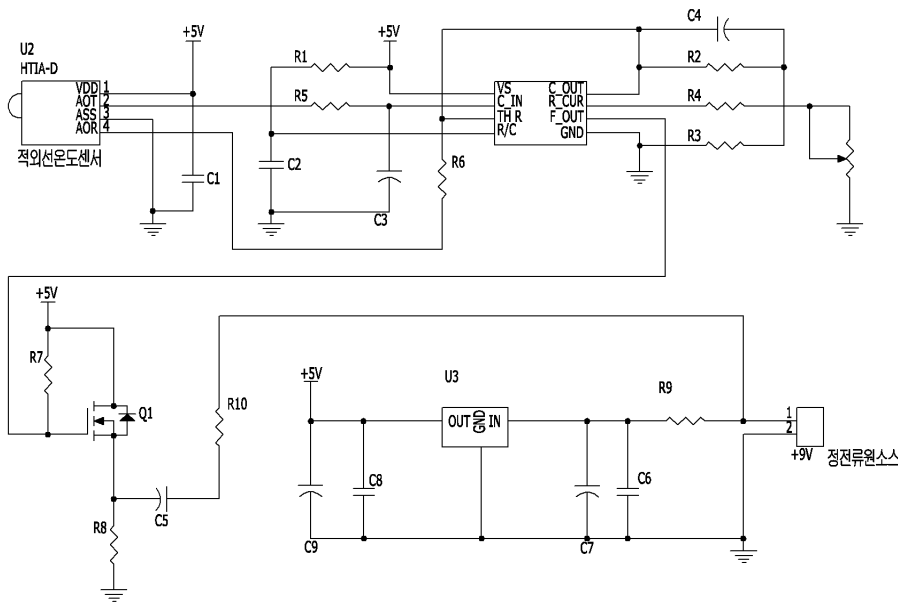
도면10



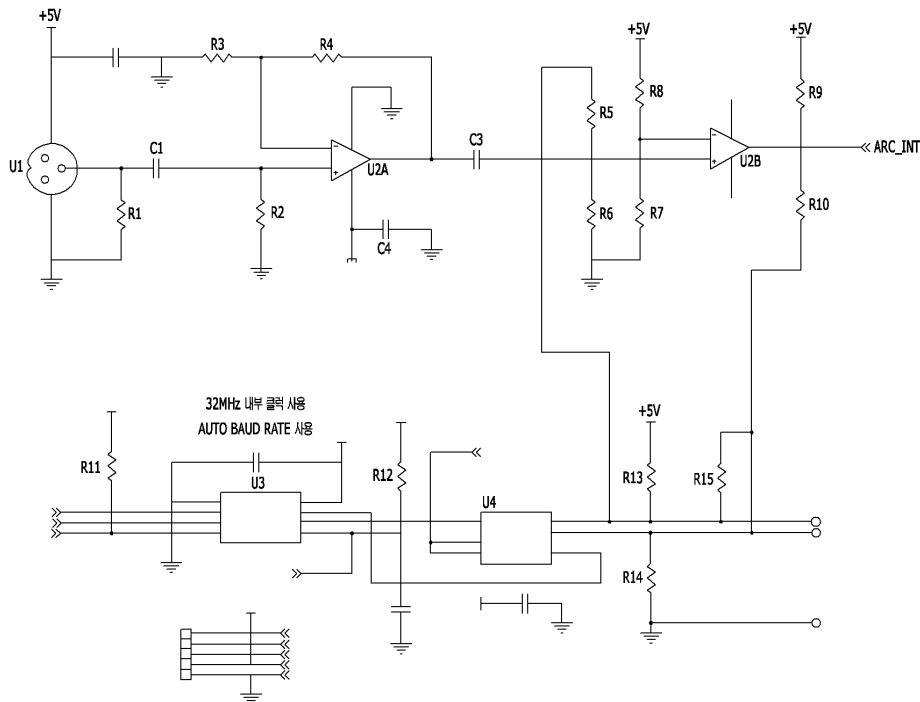
도면11



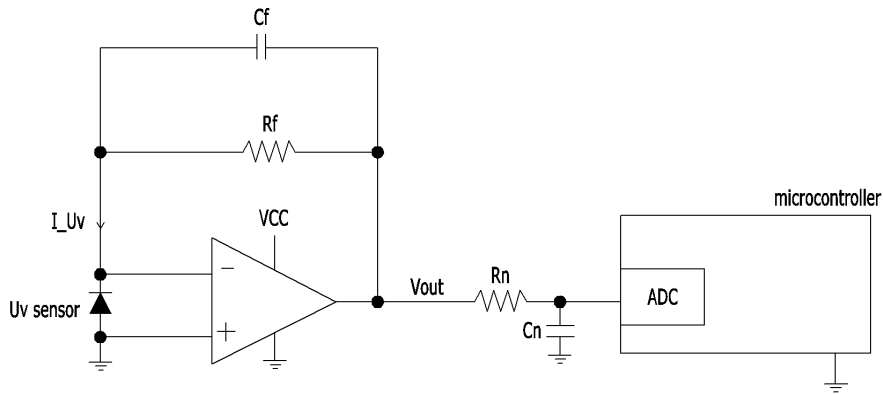
도면12



도면13



도면14



도면15

