



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0043548
(43) 공개일자 2022년04월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/12 (2006.01) G01R 23/16 (2006.01)
G01R 31/14 (2006.01) G01R 31/58 (2020.01)
G06N 20/00 (2019.01)

(52) CPC특허분류

G01R 31/1272 (2013.01)
G01R 23/16 (2021.05)

(21) 출원번호 10-2020-0127078

(22) 출원일자 2020년09월29일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

한국전력공사

전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

박정희

대전광역시 유성구 대학로 99(궁동)

김지일

대전광역시 유성구 대학로 99(궁동)

(74) 대리인

특허법인 정안

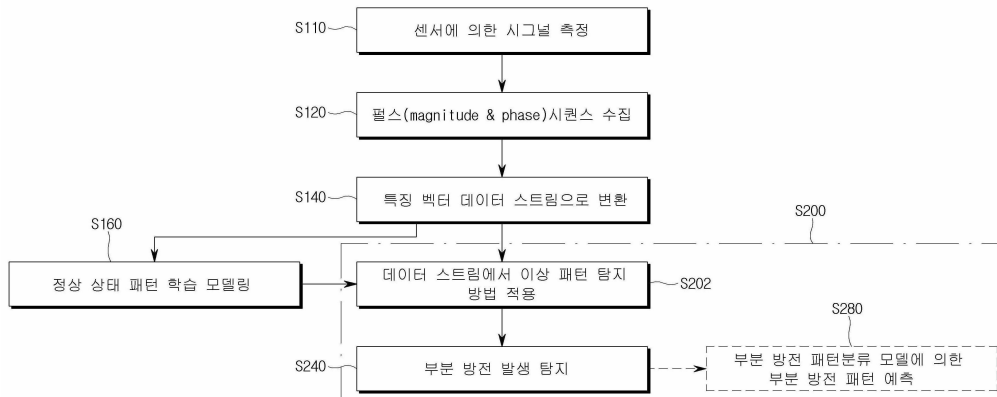
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 부분 방전 발생 탐지 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명의 부분 방전 발생 탐지 방법은, 정상 상태에서 감지 센서로 측정하는 단계; 상기 정상 상태에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계; 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계; 정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델에 대하여 모델링 학습을 수행하는 단계; 및 실시간 구간에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 패턴 모델에 반영하여, 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01R 31/14 (2013.01)

G01R 31/58 (2020.01)

G06N 20/00 (2021.08)

명세서

청구범위

청구항 1

정상 상태에서 감지 센서로 측정하는 단계;

상기 정상 상태에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계;

상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계;

정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델에 대하여 모델링 학습을 수행하는 단계;
및

실시간 구간에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 패턴 모델에 반영하여, 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계

를 포함하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 펄스 시퀀스를 수집하는 단계에서는,

상기 측정된 신호에 포함된 펄스에 대하여 기준 사인파에 대한 위상(degree) 및 주기(period)와, 크기(magnitude)로 메모리에 저장하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계에서는,

2개 이상의 위상 윈도우(phase window)에 있는 펄스 정보를, 기준 사인파에 대한 한 사이클의 위상 윈도우에 누적하고,

누적된 각 위상 윈도우의 x축과 y축의 정밀도를 m과 n으로 하여 격자 내의 빈도수를 측정하여 길이가 m*n인 1차원 벡터로 나타내는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 모델링 학습을 수행하는 단계에서는,

부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태에서 수집된 펄스 시퀀스로부터 변환된 n차원 벡터들에 대해 k-means clustering을 적용하여 정상 데이터 패턴 모델을 형성하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계는,

실사용 데이터 스트림에서 이상 패턴 탐지 방법을 적용하는 단계; 및
적용된 결과로 부분 방전 여부를 판정하는 단계
를 포함하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계는,
부분 방전 패턴 분류 모델을 지원하는 단계
를 더 포함하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,
상기 부분 방전 여부를 판정하는 단계는,
실사용 상황에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계;
상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계; 및
상기 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하는 단계
를 포함하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하는 단계는,
실사용 중에 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 이진값 스트림으로 변환하
는 단계; 및
상기 이진값 스트림에서 참조 윈도우(Reference Window)에 대해 탐지 윈도우(Detection Window)를 이동하면서
두 윈도우에서의 모비율 차를 이용한 분포 변화를 탐지하는 방식으로 부분 방전 발생 시점을 판정하는 단계
를 포함하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,
상기 분포 변화를 탐지하는 방식으로 부분 방전 발생 시점을 판정하는 단계는,
상기 참조 윈도우, 탐지 윈도우의 크기 s, t 에 대한 이상치 발생 빈도 x, y 를 구하는 단계;
상기 참조 윈도우, 탐지 윈도우에서의 표본 비율(이상치 빈도 평균) $\hat{p}_1 = \frac{x}{s}, \hat{p}_2 = \frac{y}{t}$ 을 구하는 단계;
상기 두 표본 비율을 이용하여 p-value를 구하는 단계; 및
상기 p-value이 임계값(α) 보다 작을 때 이상 패턴 발생으로 판단하는 단계

를 포함하는 부분 방전 발생 탐지 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 p-value는 하기 수학식에 따라 구해지는 부분 방전 발생 탐지 방법.

$$\hat{p} = \frac{s\hat{p}_1 + t\hat{p}_2}{s+t} = \frac{x+y}{s+t}, \quad \hat{p}_1 = \frac{x}{s}, \quad \hat{p}_2 = \frac{y}{t} \quad \text{일 때}, \quad z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{s} + \frac{1}{t}\right)}}$$

p-value : $P(Z \geq z_0)$ (정규 분포에서 z_0 이상이 나올 확률)

(여기서, n, m은 참조 윈도우와 탐지 윈도우의 크기, x, y는 참조 윈도우와 탐지 윈도우에서의 이상치 발생 빈도)

청구항 11

감지 센서의 측정 신호로부터 특징 벡터 스트림을 획득하는 벡터 스트림 획득 블록;

상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델을 생성하고 학습하는 모델 관리 블록; 및

상기 정상 상태 패턴 모델을 이용하여 부분 방전의 발생 시점을 판정하는 비교 판정 블록을 포함하는 부분 방전 탐지 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 벡터 스트림 획득 블록은,

부분 방전 감지 센서의 측정 신호를 수신하는 시그널 측정부;

상기 측정 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 펄스 시퀀스 수집부; 및

상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 벡터 변환부

를 포함하는 부분 방전 탐지 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 모델 관리 블록은,

정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델을 생성하는 모델 생성부;

상기 정상 상태 패턴 모델을 저장하는 정상 상태 패턴 모델 저장부; 및

상기 정상 상태 패턴 모델을 학습시키는 모델 학습부

를 포함하는 부분 방전 탐지 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

부분 방전 패턴 분류 모델을 저장하는 부분 방전 패턴 분류 모델 저장부를 더 포함하고,

상기 모델 생성부는 상기 비교 판정 블록에 의하여 실사용 중 이상으로 판정된 데이터를 이용하여 상기 부분 방전 패턴 분류 모델을 생성하는 부분 방전 탐지 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 비교 판정 블록은,

실사용 중에 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 이진값 스트림을 생성하는 이진값 스트림 생성부; 및

상기 이진값 스트림의 탐지 윈도우의 분포 변화로부터 부분 방전 발생 시점을 판정하는 발생 시점 판정부
를 포함하는 부분 방전 탐지 장치.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 특징 벡터 스트림은,

상기 측정 신호에 포함된 펄스를 기준 사인파에 대한 위상(degree) 및 주기(period)와, 크기(magnitude)로 규정한 펄스 시퀀스로서, 2개 이상의 위상 윈도우(phase window)에 있는 펄스 정보를, 기준 사인파에 대한 한 사이클의 위상 윈도우에 누적하고,

누적된 각 위상 윈도우의 x축과 y축의 정밀도를 m과 n으로 하여 격자 내의 빈도수를 측정하여 길이가 m*n인 1차원 벡터로 나타내는 방식으로 획득되는 부분 방전 탐지 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전력 분야 설비에서의 부분 방전 발생 탐지 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 특히, 지중 케이블로 대표되는 선로의 부분 방전 발생 탐지 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 부분방전(Partial Discharge)이란, 절연물 표면에서 고전계에 의한 부분적인 표면 방전 또는 절연물 내부에 존재하는 공극이나 기포에 발생하는 내부 방전, 강한 불균일 전계(inhomogeneous)가 인가될 때 기체 중에서 발생하는 코로나 방전, 고체 유전체에서 방전의 지속적인 영향에 의하여 발생하는 전기트리 방전 등을 포함한다.

[0004] 이러한 부분방전시 전압 스트레스에 의한 절연물의 열화가 발생하는 것으로 알려져 있다. 예컨대, 전력설비 중 고전압 전력을 공급하기 위한 전력케이블에서도 부분방전이 발생되는데, 그 원인을 보면 제조시 발생하는 불량 현상, 포설 후에 가해지는 외부 충격, 마모, 열, 습기 등에 의한 노후 현상 등으로 인하여, 점차 전력케이블의 절연 내력이 낮아지게 되면서 절연파괴에 도달하게 됨으로써, 절연파괴와 동반하여 전력케이블로부터 부분방전이 발생하고 있다.

[0005] 이렇게 고전압에서 동작하는 전력케이블의 절연물들은 시간이 지나면서 열화를 하게 되고, 이러한 열화로 인하여 부분방전이 발생하며, 이때의 부분방전은 절연체를 추가로 열화시키는 악순환이 일어나게 되어, 종국에는 전력케이블의 절연 파괴와 그 주변 부품의 고장을 일으키게 된다.

- [0006] 뿐만 아니라, 발전소나 변전소 등의 전력설비는 발전기(generator), 가스절연개폐장치(gas insulated switchgear), 가스절연변압기(gas insulated transformer), 유입변압기(oil immersed transformer) 등 다양한 전력기기를 포함하고 있으며, 이러한 전력기기에 고전압의 전류가 흐르기 때문에 전력기기 고장의 전조로서 부분방전(partial discharge)이 발생하게 된다. 이와 같이, 전력기기에 부분방전이 발생하게 되면 절연 파괴에 도달할 가능성이 있으며 최종적으로 전력설비 전체의 동작이 정지될 수 있다.
- [0007] 따라서, 부분방전의 발생을 조기에 진단하여 적절한 조치를 취함으로써 전력케이블 절연체의 열화 정도를 감시하고, 전력기기의 고장을 예방하기 위한 부분방전 진단이 필수적으로 요구된다.
- [0008] 부분방전 진단을 위한 종래 방안으로서, 노이즈 제거 센서를 이용한 부분방전 진단 방법이 제시된 바 있다.
- [0009] 상기 방안에서는, 부분 방전 신호 발생시, 신호의 반응속도 차이를 이용하여 부분 방전 신호의 노이즈를 제거하고 전력기기 표면으로 레이저를 출력하여 레이저의 반사 신호로부터 음파 및 진동 데이터를 추출한다. 추출된 음파 및 진동 데이터와 노이즈가 제거된 부분 방전 신호를 비교하여 상호 연관성을 분석하여 부분 방전을 진단한다.
- [0010] 그러나, 노이즈 제거 성능이 부분 방전 진단 성능에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 노이즈 제거 필터가 필수적이다. 또한, 부분 방전 신호를 진단하기 위해 음파, 진동 및 신호 데이터와 같은 여러 데이터가 필요한 제한이 존재한다.
- [0011] 다른 진단 방안으로서, 머신러닝을 이용한 차단기 부분방전 유형 진단 기술이 제시된 바 있다.
- [0012] 센서 데이터로부터 수신한 데이터를 통해 컨볼루션 신경망(Convolution Neural Networks, CNN)을 이용하여 센서 데이터의 부분 방전 타입을 분류한다. 그리고, PRPD 이미지를 1분간 누적한 이미지를 이용하여 모델을 학습하고 패턴을 식별한다.
- [0013] 그러나, CNN 모델은 부분방전 유형 진단을 목적으로 하는 분류 모델로서, 학습을 위하여 부분방전 유형별 많은 학습 데이터를 필요로 하고 학습량이 많다. 특히, 부분방전 유형 진단에 앞서 부분방전 발생을 높은 신뢰도로 탐지하여 충분히 데이터를 축적하는 과정이 선행되어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0015] (특허문헌 0001) 대한민국 공개공보 10-2011-0126368호
(특허문헌 0002) 대한민국 공개공보 10-2017-0102552호

비특허문헌

- [0016] (비특허문헌 0001) 군집화 기반 이상치 탐지 모델(박정희, 김태공, 김지일, 최세목, 이경훈, “클러스터링 기반 이상치 탐지” , 정보처리학회논문지, 소프트웨어 및 데이터 공학 제7권 제11호, 435-442, 2018)
(비특허문헌 0002) APD-HT(Anomaly Pattern Detection by Hypothesis Testing) 방법(김태공, 박정희, “Anomaly pattern detection for streaming data”, Expert Systems with Applications, Volume 149, 2020)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0017] 본 발명은 노이즈 제거 필터에 무관하게 부분 방전 시점을 정확하게 감지할 수 있는 부분 방전 발생 탐지 방법 및 장치를 제공하고자 한다.
- [0018] 본 발명은 학습을 위해 다량의 부분 방전 데이터를 요구하지 않는 부분 방전 발생 탐지 방법 및 장치를 제공하

고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0020] 본 발명의 일 측면에 따른 부분 방전 발생 탐지 방법은, 정상 상태에서 감지 센서로 측정하는 단계; 상기 정상 상태에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계; 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계; 정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델에 대하여 모델링 학습을 수행하는 단계; 및 실시간 구간에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 패턴 모델에 반영하여, 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 여기서, 상기 펄스 시퀀스를 수집하는 단계에서는, 상기 측정된 신호에 포함된 펄스에 대하여 기준 사인파에 대한 위상(degree) 및 주기(period)와, 크기(magnitude)로 메모리에 저장할 수 있다.
- [0022] 여기서, 상기 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계에서는, 2개 이상의 위상 윈도우(phase window)에 있는 펄스 정보를, 기준 사인파에 대한 한 사이클의 위상 윈도우에 누적하고, 누적된 각 위상 윈도우의 x축과 y축의 정밀도를 m과 n으로 하여 격자 내의 빈도수를 측정하여 길이가 m*n인 1차원 벡터로 나타낼 수 있다.
- [0023] 여기서, 상기 모델링 학습을 수행하는 단계에서는, 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태에서 수집된 펄스 시퀀스로부터 변환된 n차원 벡터들에 대해 k-means clustering을 적용하여 정상 데이터 패턴 모델을 형성할 수 있다.
- [0024] 여기서, 상기 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계는, 실사용 데이터 스트림에서 이상 패턴 탐지 방법을 적용하는 단계; 및 적용된 결과로 부분 방전 여부를 판정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0025] 여기서, 상기 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계는, 부분 방전 패턴 분류 모델을 지원하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0026] 여기서, 상기 부분 방전 여부를 판정하는 단계는, 실사용 상황에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계; 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계; 및 상기 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 여기서, 상기 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하는 단계는, 실사용 중에 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 이진값 스트림으로 변환하는 단계; 및 상기 이진값 스트림에서 참조 윈도우(Reference Window)에 대해 탐지 윈도우(Detection Window)를 이동하면서 두 윈도우에서의 모비율 차를 이용한 분포 변화를 탐지하는 방식으로 부분 방전 발생 시점을 판정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0028] 여기서, 상기 분포 변화를 탐지하는 방식으로 부분 방전 발생 시점을 판정하는 단계는, 상기 참조 윈도우, 탐지 윈도우의 크기 s, t에 대한 이상치 발생 빈도 x, y를 구하는 단계; 상기 참조 윈도우, 탐지 윈도우에서의 표본 비율(이상치 빈도 평균) $\hat{p}_1 = \frac{x}{s}$, $\hat{p}_2 = \frac{y}{t}$ 을 구하는 단계; 상기 두 표본 비율을 이용하여 p-value를 구하는 단계; 및 상기 p-value이 임계값(α) 보다 작을 때 이상 패턴 발생으로 판단하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0029] 여기서, 상기 p-value는 하기 수식에 따라 구해질 수 있다.
- $$\hat{p} = \frac{s\hat{p}_1 + t\hat{p}_2}{s+t} = \frac{x+y}{s+t}, \quad \hat{p}_1 = \frac{x}{s}, \quad \hat{p}_2 = \frac{y}{t} \quad \text{일 때,} \quad z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}(\frac{1}{s} + \frac{1}{t})}}$$
- [0030] p-value : $P(Z \geq z_0)$ (정규 분포에서 z_0 이상이 나올 확률)
- [0031] (여기서, n, m은 참조 윈도우와 탐지 윈도우의 크기, x, y는 참조 윈도우와 탐지 윈도우에서의 이상치 발생 빈도)
- [0033] 본 발명의 다른 측면에 따른 부분 방전 발생 탐지 장치는, 감지 센서의 측정 신호로부터 특징 벡터 스트림을 획득하는 벡터 스트림 획득 블록; 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델을 생성하고 학습하는 모델 관리 블록; 및 상기 정상 상태 패턴 모델을 이용하여 부분 방전의 발생 시점을 판정하는 비교 판정 블록을 포함할

수 있다.

- [0034] 여기서, 상기 벡터 스트림 획득 블록은, 부분 방전 감지 센서의 측정 신호를 수신하는 시그널 측정부; 상기 측정 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 펄스 시퀀스 수집부; 및 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 벡터 변환부를 포함할 수 있다.
- [0035] 여기서, 상기 모델 관리 블록은, 정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델을 생성하는 모델 생성부; 상기 정상 상태 패턴 모델을 저장하는 정상 상태 패턴 모델 저장부; 및 상기 정상 상태 패턴 모델을 학습시키는 모델 학습부를 포함할 수 있다.
- [0036] 여기서, 부분 방전 패턴 분류 모델을 저장하는 부분 방전 패턴 분류 모델 저장부를 더 포함하고, 상기 모델 생성부는 상기 비교 판정 블록에 의하여 실사용 중 이상으로 판정된 데이터를 이용하여 상기 부분 방전 패턴 분류 모델을 생성할 수 있다.
- [0037] 여기서, 상기 비교 판정 블록은, 실사용 중에 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 이진값 스트림을 생성하는 이진값 스트림 생성부; 및 상기 이진값 스트림의 탐지 윈도우의 분포 변화로부터 부분 방전 발생 시점을 판정하는 발생 시점 판정부를 포함할 수 있다.
- [0038] 여기서, 상기 특징 벡터 스트림은, 상기 측정 신호에 포함된 펄스를 기준 사인파에 대한 위상(degree) 및 주기(period)와, 크기(magnitude)로 규정한 펄스 시퀀스로서, 2개 이상의 위상 윈도우(phase window)에 있는 펄스 정보를, 기준 사인파에 대한 한 사이클의 위상 윈도우에 누적하고, 누적된 각 위상 윈도우의 x축과 y축의 정밀도를 m과 n으로 하여 격자 내의 빈도수를 측정하여 길이가 m*n인 1차원 벡터로 나타내는 방식으로 획득될 수 있다.

발명의 효과

- [0040] 상술한 구성의 본 발명의 사상에 따른 부분 방전 발생 탐지 방법 및/또는 장치를 실시하면, 노이즈 제거 필터에 무관하게 부분 방전 시점을 정확하게 감지할 수 있는 이점이 있다.
- [0041] 본 발명의 부분 방전 발생 탐지 방법 및/또는 장치는, 학습을 위해 다량의 부분 방전 데이터를 요구하지 않는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0043] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 부분 방전 발생 탐지 방법을 도시한 흐름도.
- 도 2는 펄스 시퀀스로부터 특징 벡터 데이터 스트림으로 변환하는 과정을 도시한 개념도.
- 도 3은 도 2의 과정들 중 부분 방전 발생을 탐지하는 단계를 상세히 도시한 흐름도.
- 도 4는 본 발명의 사상에 따른 부분 방전 탐지 방법을 수행하는 부분 방전 탐지 장치를 도시한 블록도.
- 도 5는 생성된 노이즈 데이터의 PRPDA를 보여주는 그래프.
- 도 6a 및 6b는 void 타입의 부분 방전 PRPDA와 정상 상태에서의 노이즈 데이터와 합성한 PRPDA 예를 보여주는 그래프.
- 도 7은 부분 방전 판정 기준에 대한 개념도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 본 발명을 설명함에 있어서 제 1, 제 2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되지 않을 수 있다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제 1 구성요소는 제 2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소도 제 1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0045] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 연결되어 있거나 접속되어 있다고 언급되는 경우는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해

될 수 있다.

- [0046] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0047] 본 명세서에서, 포함하다 또는 구비하다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것으로서, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해될 수 있다.
- [0048] 또한, 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.
- [0050] 본 발명은 기계학습 기반 이상 패턴 탐지 방법을 적용한 온라인 부분 방전 발생 탐지 방법을 제안하되, 본 발명의 제안 방법은 오프라인으로 정상 상태 데이터 패턴을 모델링하고, 이 모델을 이용하여 실시간 데이터 스트림에서 이상 상태를 탐지한다. 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태에서의 데이터는 부분 방전 발생 상태에서보다 얻기가 쉽기 때문에, 기계학습 방법의 적용에서 필수적인 학습데이터 부족 문제를 피할 수 있다.
- [0051] 상기 방안을 개략적으로 살펴보면, 원시적인 펄스 시퀀스로부터 부분 방전 발생 탐지에 효과적인 스트리밍 데이터를 얻는 데이터 전처리 방법을 수행한다. 다음, 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태에서 수집한 데이터 패턴을 모델링한 후, 실시간으로 발생하는 스트리밍 데이터에서 정상 패턴 모델을 벗어나는 시그널의 발생을 탐지함으로써 부분 방전 발생을 효과적으로 탐지할 수 있다. 또한, 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태 모델링은 자연적인 노이즈 상황을 모델링함으로써 부분 방전 발생 탐지는 노이즈 필터링 성능에 큰 영향을 받지 않게 된다.
- [0053] 도 1은 상술한 본 발명의 사상을 구현하는 일 실시예에 따른 부분 방전 발생 탐지 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0054] 도시한 부분 방전 발생 탐지 방법은, 정상 상태에서 감지 센서에서 측정하는 단계(S110); 상기 정상 상태에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계(S120); 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계(S140); 정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델에 대하여 모델링 학습을 수행하는 단계(S160); 및 실사용 감시 구간인 실시간 구간에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 패턴 모델에 반영하여, 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계(S200)를 포함할 수 있다.
- [0056] 상기 감지 센서에서 측정하는 단계(S110)는, HFCT, UHF, 박전극 등의 센서들에 의해 수행되는 바, 연산 과정에 관심을 두는 경우, 상기 S110 단계는 생략하여 표현할 수 있다.
- [0057] 구체적으로, 상기 감지 센서에서 측정하는 단계(S110)는, 전로 전선 주위에 부착된 센서로부터 전압과 전류를 측정하는 단계; 상기 측정된 전압과 전류 수치를 데이터로 접수하는 단계로 구분할 수 있다.
- [0058] 상기 펄스 시퀀스를 수집하는 단계(S120)에서는, 상기 HFCT, UHF, 박전극 등의 센서에 의한 신호 검출로부터 펄스 시퀀스 입력 데이터를 수집한다. 충분한 시간적 구간에 대하여 펄스 시퀀스를 수집하기 위해, 펄스 시퀀스 값을 메모리에 순차적으로 저장하는 방식으로 수행될 수 있다. 예컨대, 도면에서는 상기 각 펄스의 위상을 판단하는 기준이 되는 기준 사인파에 대한 시간축에서 측정된 펄스를 표시하고 있는데, 상기 S120 단계에서는, 상기 기준 사인파에 대한 시점 및 크기(magnitude)로 메모리에 저장할 수 있다. 상기 기준 사인파에 대한 시점으로서 위상(degree) 및 주기(period)로 구분하여 저장할 수 있다.
- [0059] 상기 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계(S140)에서는, 펄스 시퀀스를 n차원 벡터의 데이터 스트림으로 변환을 수행할 수 있다.
- [0060] 도 2는 상기 S140 단계에서 펄스 시퀀스로부터 특징 벡터 데이터 스트림으로 변환하는 과정을 도시한 개념도이다.
- [0061] 도면에서는, 펄스 크기(magnitude)와 위상(phase)의 펄스 시퀀스 데이터로부터 특징 벡터 데이터 스트림으로의 변환 과정을 예시적으로 표현하였다.
- [0062] p(도면에서는 3개)개의 위상 윈도우(phase window)에 있는 펄스 정보를 한 사이클의 위상 윈도우에 누적한다.

누적된 각 위상 윈도우의 x축과 y축의 정밀도를 m 과 n 으로 하여 격자 내의 빈도수를 측정하여 길이가 $m \times n$ 인 1차원 벡터로 나타낼 수 있다.

- [0063] r 개의 새로운 위상 윈도우 추가와 오래된 윈도우의 삭제를 통해 윈도우를 이동시켜가며 같은 과정을 반복하여 펄스 시퀀스를 $m \times n$ 차원 벡터들의 스트림으로 변환한다.
- [0065] 상기 모델링 학습을 수행하는 단계(S160)는, 상기 정상 상태 패턴 모델을 생성하는 단계 및 생성된 정상 상태 패턴 모델을 학습하는 단계로 구분될 수 있다.
- [0066] 상기 모델을 생성하는 단계에서는, 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태에서 수집된 펄스 시퀀스로부터 변환된 n 차원 벡터들에 대해 k-means clustering을 적용하여 정상 데이터 패턴을 모델링할 수 있다. 여기서, 추후 정상 패턴의 판단 기준이 되는 기준 데이터로서, 상기 모델링된 정상 데이터 패턴들로 이루어진 클러스터들이 될 수 있다. 다시 말해, 실시간으로 수집되는 펄스 시퀀스에 대해 n 차원 벡터 데이터 스트림으로 변환하고, 이상 패턴 탐지 방법을 적용하여 정상 데이터 패턴 모델로서 상기 클러스터들로부터 벗어나는 것을 부분 방전 발생으로 탐지할 수 있다.
- [0068] 상기 정상 상태의 데이터 패턴 모델 학습으로서의 S160 단계를 상술하겠다.
- [0069] 상기 모델을 생성하는 단계(S160)에서는, 부분 방전이 발생하지 않은 정상적인 상태에서 일정 시간 동안의 펄스 시퀀스를 측정하여, 상기 도 2에 도시한 과정에 의한 전처리에 의해 변환된 특징 벡터들의 학습 데이터를 구성한다. 주어진 정상 학습 데이터에 대하여 군집화 기반 이상치 탐지 모델(박정희, 김태공, 김지일, 최세목, 이경훈, “클러스터링 기반 이상불 모델 구성을 이용한 이상치 탐지”, 정보처리학회논문지, 소프트웨어 및 데이터 공학 제7권 제11호, 435-442, 2018)을 구성할 수 있다.
- [0070] 즉, 상기 판단 기준이 되는 클러스터들을 구성하는데, 여기서, 정상 학습 데이터에 대하여 수행되는 군집화 기반 이상치 탐지 방법은 다음과 같다. 정상 데이터를 이용하여 t 개의 청크로 나누고 각 청크에 대해 k-means clustering을 적용하여 클러스터링 이상불 모델을 구성한다.
- [0071] 상기 다수개의 클러스터들로 이루어진 모델의 구성 이후, 각 청크의 클러스터링 모델에서 테스트 데이터 샘플에 대해 가장 가까운 클러스터 영역에서 벗어나 있을 때 그 데이터 샘플을 이상치 후보로 예측한다. 모든 청크의 모델에서 데이터 샘플이 이상치 후보로 예측되면 최종적으로 이상치 데이터로 판단하게 된다. 즉, 측정된 데이터 샘플이 상기 모델을 구성하는 다수개의 클러스터들 중 어느 것에도 속하지 않으면, 이상(부분 방전)으로 판정한다.
- [0072] 도 1에서 상기 부분 방전의 발생 시점을 탐지하는 단계(S200)는, 실사용 데이터 스트림에서 이상 패턴 탐지 방법을 적용하는 단계(S202); 부분 방전 여부를 판정하는 단계(S240); 및 부분 방전 패턴 분류 모델을 지원하는 단계(S280)로 구분되어 있다.
- [0073] 상기 S202 단계는, 실사용 중에 센서에서 측정된 신호들을 상기 S120 단계에 반영하는 것이 될 수 있는 바, 상세 설명은 생략하겠다.
- [0074] 도시한 S280 단계는, 실사용 데이터 스트림으로 S240 단계를 수행한 결과로, 부분 방전으로 판단된 패턴들(즉, 부분 방전 패턴)이 누적되어 확보되면, 이를 이용하여 추가적으로, 부분 방전 발생이 탐지될 때 부분 방전 패턴 분류 모델(다양한 종래 기술에 따를 수 있음)에 의한 부분 방전 패턴 예측을 수행할 수 있음을 보여준 것이다. 이미, 부분 방전 패턴 분류 모델에 의한 예측은, 기계학습 방법에 의한 부분 방전 패턴 분류는 많이 연구되고 있으므로 상세 설명은 생략하며, 다만, 부분 방전 발생 통보후(알람이 울린 후) 습득되는 데이터를 이용해 부분 방전 패턴 분류 모델에 의한 예측을 수행할 수 있음을 밝혀 둔다.
- [0076] 도 3은 상술한 이상 패턴 탐지에 의한 부분 방전 발생을 탐지하는 상기 S240 단계를 상세히 도시한 흐름도이다.
- [0077] 도시한 바와 같이, 부분 방전 여부를 판정하는 단계(S240)는, 실사용 상황에서 측정된 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 단계(S242); 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계(S244); 및 상기 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하는 단계(S246)를 포함할 수 있다.

[0078] 상기 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계(S244)에서는, 실사용 중에 실시간으로 수집되는(S242) 펄스 시퀀스를 특징벡터 데이터 스트림 $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$ 으로 변환한다.

[0079] 부분 방전이 없는 정상 상태의 데이터로부터 구성된 군집화기반 이상치 탐지 모델을 적용하여 특징벡터 데이터 스트림 $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$ 을 이진값 스트림으로 변환한다. 상기 이진값 스트림에서는 각 데이터 벡터 x_i 가 정상 데이터로 예측될 때 0으로 나타내고, 이상(부분 방전)치로 예측될 때 1로 나타냄으로써, 특징벡터 데이터 스트림 $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$ 을 $0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, \dots$ 의 이진값 스트림으로 변환할 수 있다(S246-1).

[0080] 변환된 이진값 스트림에서 참조 윈도우(Reference Window)에 대해 탐지 윈도우(Detection Window)를 이동하면서 두 윈도우에서의 모비율 차를 이용한 분포 변화를 탐지한다(S246-2).

[0082] 다음, 상기 S246-2 단계에서의 모비율 차 검정을 이용한 이상 패턴 발생 탐지 방안을 구체적으로 설명한다.

[0083] 클러스터링 양상불 모델에 의한 이진 예측값 스트리밍에서 도 2와 같이 참조 윈도우와 탐지 윈도우 2개의 윈도우에서 데이터 분포를 비교하여 이상 패턴 발생을 탐지할 수 있다. 각 윈도우에서의 이상치 발생 빈도는 이항 분포로 나타낼 수 있다. 두 이항분포의 모비율 차이를 검정함으로써 분포 변화를 탐지한다. 두 윈도우의 모비율을 각각 p_1 과 p_2 라고 하고, 윈도우 크기를 m 과 n 이라 하자. 각 윈도우에서의 이상치 데이터의 개수를 x 와 y 라고

했을 때, 표본의 크기 m 과 n 이 크면 중심극한정리에 의해 표본 비율 $\hat{p}_1 = \frac{x}{m}$ 과 $\hat{p}_2 = \frac{y}{n}$ 의 차의 분포는 하기 수학적 식 1과 같이 근사적으로 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

수학적 식 1

$$\hat{p}_1 - \hat{p}_2 \sim N(p_1 - p_2, \frac{p_1 q_1}{m} + \frac{p_2 q_2}{n})$$

[0084]

[0085] 두 모비율의 차이 $p_1 - p_2$ 에 대한 가설검정을 귀무가설 $H_0 : p_1 - p_2 = 0$ 에 대해 z 검정을 수행할 수 있다. 귀무가설이 기각될 때 탐지 윈도우에서 이상 패턴이 발생했다고 할 수 있다. 두 모집단의 분산이 같다고 가정하

면 $p_1 q_1 = p_2 q_2 = pq$ 일 때, $\hat{p} = \frac{m\hat{p}_1 + n\hat{p}_2}{m+n} = \frac{x+y}{m+n}$ 에 대해 하기 수학적 식 2와 같은 검정 통계량 z_0 를 가설검정에 사용한다.

수학적 식 2

$$z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}(\frac{1}{m} + \frac{1}{n})}}$$

[0086]

[0087] 상기 특징벡터로부터 얻어진 이진값 스트리밍 데이터에서 실시간으로 이상 패턴을 탐지 하기 위해 도 2와 같이 참조 윈도우를 고정하고 탐지 윈도우만 움직이면서 진행하는 FRW(fixed reference window) 방법과 참조 윈도우와 탐지 윈도우가 같이 전진하는 MRW(Moving Reference Window) 방법으로 이상 패턴을 탐지할 수 있다.

[0088] 도 2에 도시한 형태의 특징 벡터 스트림을 이용하는 경우, 상술한 과정으로 최종적으로 상기 S244 단계에서 구해지는 부분 방전 발생 시점은, 3개의 기준 사인과 구간의 범위로 주어지고, 상기 판정된 구간의 정확도는 상기 탐지 윈도우의 시프트 간격이다.

- [0090] 도 4는 본 발명의 사상에 따른 부분 방전 탐지 방법을 수행하는 부분 방전 탐지 장치를 도시한 블록도이다.
- [0091] 도시한 부분 방전 탐지 장치는, 감지 센서의 측정 신호로부터 특징 벡터 스트림을 획득하는 벡터 스트림 획득 블록(120); 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델을 생성하고 학습하는 모델 관리 블록(140); 및 상기 정상 상태 패턴 모델을 이용하여 부분 방전의 발생 시점을 판정하는 비교 판정 블록(160)을 포함할 수 있다.
- [0092] 도시한 벡터 스트림 획득 블록(120)은, 부분 방전 감지 센서의 측정 신호를 수신하는 시그널 측정부(121); 상기 측정 신호들에 대한 펄스 시퀀스를 수집하는 펄스 시퀀스 수집부(122); 및 상기 펄스 시퀀스를 특징 벡터 스트림으로 변환하는 벡터 변환부(124)를 포함할 수 있다.
- [0093] 예컨대, 상기 시그널 측정부(121)는 HFCT, UHF, 박전극 등 부분 방전 감지 센서들의 측정 신호를 입력받는 입력 회로로 구현되고, 상기 펄스 시퀀스 수집부(122)는 입력되는 상기 측정 신호에 포함된 펄스들의 시점(phase) 및 크기(magnitude)를 저장하는 메모리로 구현될 수 있다. 보다 구체적으로 상기 메모리에는 도 2에 도시한 상기 기준 사인파에 대한 위상을 포함한 시점 및 크기(magnitude)가 저장될 수 있다.
- [0094] 예컨대, 상기 시그널 측정부(121)는 도 1의 감지 센서에서 측정하는 단계(S110)를 수행할 수 있다.
- [0095] 예컨대, 상기 펄스 시퀀스 수집부(122)는 모델 생성을 위한 정상 상태 및 실사용 중에 도 1 및 도 3의 펄스 시퀀스 수집 단계(S120, S242)를 수행할 수 있다.
- [0096] 상기 벡터 변환부(124)는, 상기 펄스 시퀀스를 n차원 벡터의 데이터 스트림으로 변환하는 데이터 처리 장치로 구현될 수 있다. 예컨대, 상기 데이터 처리 장치는 모델 생성을 위한 정상 상태 및 실사용 중에 도 1 및 도 3의 특징 벡터 스트림으로 변환하는 단계(S140, S244)를 수행할 수 있다.
- [0098] 도시한 모델 관리 블록(140)은, 정상 상태에서 획득된 상기 특징 벡터 스트림으로 정상 상태 패턴 모델을 생성하는 모델 생성부(142); 상기 정상 상태 패턴 모델을 저장하는 정상 상태 패턴 모델 저장부(147); 및 상기 정상 상태 패턴 모델을 학습시키는 모델 학습부(144)를 포함할 수 있다.
- [0099] 상기 모델 생성부(142)는 도 1 및 도 3에 도시한 S160 단계 중 정상 상태 패턴 모델을 생성하는 단계를 수행한다. 예컨대, 상기 모델 생성부(142)는 최초 모델 생성을 위해 정상 상태로 규정된 측정 신호들이 입력되는 기간 동안의 펄스 시퀀스를 이용하여, 정상 데이터에 대한 군집화 기반 모델로서, k-means clustering을 적용하여 클러스터링 앙상블 모델을 생성할 수 있다.
- [0100] 예컨대, 상기 모델 학습부(144)는 상기 정상 상태로 규정된 측정 신호들이 입력되는 기간 이후에 입력되는, 정상 상태로 판정된 특징 벡터 스트림을 클러스터링에 추가하는 방식으로 상기 정상 상태 패턴 모델의 학습을 수행할 수 있다.
- [0101] 구현에 따라 종래 기술에 따른 부분 방전 패턴 분류 모델을 저장하는 부분 방전 패턴 분류 모델 저장부(148)를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 상기 모델 생성부(42)는 상기 비교 판정 블록(160)에 의하여 실사용 중 이상(부분 방전)으로 판정된 데이터를 이용하여 부분 방전 패턴 분류 모델을 생성할 수 있다.
- [0103] 도시한 비교 판정 블록(160)은, 실사용 중에 획득된 상기 특징 벡터 스트림을 상기 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 이진값 스트림을 생성하는 이진값 스트림 생성부(162); 및 상기 이진값 스트림의 탐지 윈도우의 분포 변화로부터 부분 방전 발생 시점을 판정하는 발생 시점 판정부(164)를 포함할 수 있다.
- [0104] 예컨대, 상기 이진값 스트림 생성부(162)는, 도 3의 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하기 위한 이진값 스트림을 생성하는 단계(S246-1)를 수행할 수 있다.
- [0105] 예컨대, 상기 발생 시점 판정부(164)는, 도 3의 정상 상태 패턴 모델과 비교하여 정상 여부를 판정하기 위한, 이진값 스트림으로부터 부분 방전 발생 시점을 판정하는 단계(S246-2)를 수행할 수 있다.
- [0106] 예컨대, 상기 발생 시점 판정부(164)는, 상기 수학적 1 및 2에 따른 부분 방전 발생 시점을 판정을 수행할 수 있다.
- [0108] 다음은, 본 발명의 사상에 따른 부분 방전 탐지 방법의 효과를 알아보는 과정을 기술한다. 비록 효과에 대한 입

증 과정이지만, 각 과정들의 상세 내용은 본 발명의 사상에 따른 부분 방전 탐지 방법을 이해하고 정의하는데 이용될 수 있음을 밝혀둔다.

- [0109] 실험 환경 설정을 기술하겠다.
- [0110] 정상 패턴 모델 구성을 위한 학습 데이터를 준비하고, 부분 방전이 발생하지 않은 정상적인 상태에서 일정 시간 동안의 펄스 시퀀스를 측정하여 도 2의 과정에 의한 전처리에 의해 학습 데이터를 구성하여 군집화기반 이상치 탐지 모델을 학습한다. 테스트 데이터 스트림으로서, 1시간의 정상 데이터 스트리밍 후에 부분 방전이 발생하는 상황을 나타내는 1시간의 부분 방전 데이터 스트림으로 구성한다.
- [0111] 다음, 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태에서의 노이즈 데이터 스트림 생성한다.
- [0112] 예컨대, 부분 방전이 발생하지 않은 상태에서의 데이터가 수집되어 있지 않으므로 실험을 위해 노이즈가 존재하는 환경을 가정하여 5시간 길이의 인위적인 데이터를 생성하여 4시간은 정상 모델 구성을 위하여, 나머지 1시간은 테스트 데이터 스트림의 정상 데이터로 사용한다. 이 경우, 데이터 생성 과정은 다음과 같다.
- [0113] 평상시 지중 케이블에서 감지되는 신호는 센서와 가까운 곳에서 발생한 강한 신호와 먼 곳에서 전파된 약한 신호가 합성되었다고 가정한다. 생성된 신호 데이터는 전하값(charge), 위상(degree), 주기(period)의 3개의 값의 시퀀스로 이루어져있다. 신호 생성 알고리즘은 가우시안 랜덤 함수를 사용하여 한 주기 내에 발생한 신호 개수, 전하값, 위상을 결정한다.
- [0114] 도 5는 상술한 바와 같이 생성된 노이즈 데이터의 PRPDA를 보여준다.
- [0116] 다음, 테스트용 부분 방전 데이터 스트림 구성을 예시한다.
- [0117] Surface, void, corona(정극성, 부극성)의 3가지 타입의 부분 방전을 시뮬레이션한 데이터를 이용한다. 각 타입의 이상치 데이터는 60hz 기준 10분의 길이로 구성되어 있다. 10분 길이의 데이터에서 작은 랜덤 값을 펄스의 위상(phase)에 더해 위상값을 랜덤하게 변화시켜 반복함으로써 1시간 분량으로 연장하여 테스트 스트림의 부분 방전 측정 데이터로 사용하였다. 노이즈 스트림 데이터를 1시간 분량으로 생성하여 부분 방전 데이터 스트림과 합성하여 노이즈 존재 하에서의 부분 방전 발생 상황을 시뮬레이션 하였다.
- [0118] 도 6a 및 6b는 void 타입의 부분 방전 PRPDA와 정상 상태에서의 노이즈 데이터와 합성한 PRPDA 예를 보여준다. 구체적으로, 도 6a는 void 타입 부분방전 PRPDA를 나타내며, 도 6b는 void 타입 부분방전+노이즈 PRPDA를 나타낸다.
- [0120] 다음, 기준으로 적용한 실험 평가 척도에 대하여 기술한다. 도 7은 판정 기준에 대한 개념을 나타내고 있다.
- [0121] 부분 방전 탐지를 positive 판정이라 하면, 부분 방전 탐지 성능은 TP(true positive), FP(false positive), FN(negative positive), delay 등으로 평가할 수 있다. 여기서, TP는 실제 부분 방전 발생 시점 이후에 부분 방전 발생이 탐지됨을 의미하며, FP는 실제 부분 방전 발생 시점보다 이전에 부분 방전이 발생이 탐지됨을 의미하며, FN: 실제 부분 방전 발생 시점 이후에 부분 방전 발생이 탐지되지 않음을 의미한다. Delay는 실제 부분 방전 발생 시점부터 부분 방전 발생 예측 시점 사이의 시간적 거리이다.
- [0123] 다음, 실험 결과를 기술한다. 이때, 펄스 시퀀스는 60Hz의 frequency로 나타냈다.
- [0124] 전처리 과정에서 한 사이클의 위상 윈도우에 누적되는 위상 윈도우의 개수와 앞으로 이동하는 위상 윈도우의 개수는 (360개, 60개), (600개, 60개), (1800개, 300개), (3600개, 600개)로 변화시켜서 수행하였다. 누적된 한 사이클의 위상 윈도우를 분할하는 x축과 y축의 정밀도는 $m=8$ 과 $n=4$ 로 설정하고 (y축 양의 방향의 부분을 4개의 격자로 나타냄), 노이즈 데이터를 생성할 때 피크 신호의 세기(Peak Amplitude, PA)를 5, 10, 15, 20으로 변화해가며 노이즈의 영향을 비교하였다.
- [0125] 클러스터링 기반 이상치 탐지 방법은 앙상블 멤버의 수는 1, 클러스터의 개수는 10 또는 30으로 설정하고, 이상 패턴 탐지 방법에서의 참조 윈도우와 탐지 윈도우의 크기는 50, 100, 150, 200으로 변화하며 실험을 진행하고 가설 검정의 유의 수준은 0.01로 설정하고, 각 실험 설정마다 노이즈 데이터 생성을 랜덤하게 5번을 반복 수행

하여 TP/FP/FN/Delay(DL)를 하기 표 1-1 내지 표 5를 얻을 수 있었다.

클러스터 개수가 10일 때 void 타입 부분 방전 데이터를 이용한 실험 결과로서, 하기 표 1-1 내지 표 1-4를 얻었다.

[표 1-1]

PA	이상패턴탐지에서 참조윈도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	4.8	5	0	0	4.8	5	0	0	5.2	5	0	0	5.2
10	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0	5
15	5	0	0	4.8	5	0	0	5.2	5	0	0	5.2	5	0	0	5.2
20	5	0	0	4.8	5	0	0	4.8	5	0	0	4.8	5	0	0	4.8

[표 1-2]

PA	이상패턴탐지에서 참조윈도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0	4.8	5	0	0	5.2
10	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0	5.2	5	0	0	5.6
15	5	0	0	5	5	0	0	5.4	5	0	0	5	5	0	0	5.4
20	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0	4.8	5	0	0	5.2

[표 1-3]

PA	이상패턴탐지에서 참조윈도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	4	1	0	5.5	4	1	0	5.3	4	1	0	6.3	4	1	0	6.5
10	5	0	0	5.2	5	0	0	4.6	4	1	0	6.3	4	1	0	8.5
15	5	0	0	5.4	5	0	0	4.8	5	0	0	4.8	5	0	0	5
20	5	0	0	5.4	5	0	0	5.2	5	0	0	5.2	5	0	0	5.2

[표 1-4]

PA	이상패턴탐지에서 참조윈도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	4.8	5	0	0	5	5	0	0	6.2	5	0	0	45
10	5	0	0	5.4	5	0	0	6.2	5	0	0	6.4	5	0	0	45
15	5	0	0	5.4	5	0	0	7.2	5	0	0	7.4	5	0	0	45
20	5	0	0	4.6	5	0	0	6.4	5	0	0	6.4	5	0	0	45

상기 표 1-1은 누적 위상윈도우와 이동 개수가 (360개, 60개)일 때의 결과이고, 상기 표 1-2는 누적 위상윈도우와 이동 개수가 (600개, 60개)일 때의 결과이며, 상기 표 1-3은 누적 위상윈도우와 이동 개수가 (1800개, 300개)일 때의 결과이고, 상기 표 1-4는 누적 위상윈도우와 이동 개수가 (3600개, 600개)일 때의 결과이다.

클러스터 개수가 30일 때 void 타입 부분 방전 데이터를 이용한 실험 결과로서 하기 표 2-1 내지 2-4를 얻었다.

[0138] [표 2-1]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	4.4	4	1	0	4.8	4	1	0	5	4	1	0	5
10	5	0	0	4.6	5	0	0	5.2	5	0	0	5.6	5	0	0	5.6
15	5	0	0	4.8	5	0	0	4.8	5	0	0	5	5	0	0	5
20	5	0	0	4.8	5	0	0	6.4	5	0	0	6.8	5	0	0	6.8

[0139]

[0140] [표 2-2]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	3	2	0	4.7	4	1	0	5.8	4	1	0	7	3	2	0	9.3
10	3	2	0	5	4	1	0	5.5	4	1	0	6.5	3	2	0	9.3
15	3	2	0	5	3	2	0	5	4	1	0	7.8	4	1	0	9.3
20	3	2	0	5	3	2	0	5	4	1	0	7	4	1	0	9

[0141]

[0142] [표 2-3]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	2	3	0	7	2	3	0	9	3	2	0	15.7	4	1	0	14.3
10	3	2	0	6	3	2	0	10	5	0	0	13.4	5	0	0	15.8
15	3	2	0	7	3	2	0	7.3	3	2	0	11.3	4	1	0	12.3
20	2	3	0	7	3	2	0	7.7	4	1	0	14.7	4	1	0	15

[0143]

[0144] [표 2-4]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	3	2	0	7.7	5	0	0	13	5	0	0	13.4	5	0	0	45
10	4	1	0	7.3	4	1	0	11.5	5	0	0	11.6	5	0	0	45
15	3	2	0	6	4	1	0	12	4	1	0	11.8	5	0	0	45
20	3	2	0	7.3	5	0	0	13.2	5	0	0	16.2	5	0	0	45

[0145]

[0146] 상기 표 2-1은 누적 위상원도우와 이동 개수가 (360개, 60개)일 때의 결과이고, 상기 표 2-2는 누적 위상원도우와 이동 개수가 (600개, 60개)일 때의 결과이며, 상기 표 2-3은 누적 위상원도우와 이동 개수가 (1800개, 300개)일 때의 결과이고, 상기 표 2-4는 누적 위상원도우와 이동 개수가 (3600개, 600개)일 때의 결과이다.

[0147] 하기 표 3은 클러스터 개수가 10일 때 surface 타입 부분 방전 데이터를 이용한 실험 결과로서, 누적 위상원도우와 이동 개수가 (360개, 60개)일 때의 결과를 나타낸다.

[0148] [표 3]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	2.4	5	0	0	2.8	5	0	0	2.6	5	0	0	2.6
10	5	0	0	2.4	5	0	0	2.8	5	0	0	2.6	5	0	0	2.6
15	5	0	0	2	5	0	0	2.4	5	0	0	2.2	5	0	0	2.2
20	5	0	0	2.4	5	0	0	2.4	5	0	0	2	5	0	0	2

[0149]

[0150] 하기 표 4는 클러스터 개수가 10일 때 corona(정극성) 타입 부분 방전 데이터를 이용한 결과로서, 누적 위상원도우와 이동 개수가 (360개, 60개)일 때의 결과를 나타낸다.

[0151] [표 4]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2
10	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2
15	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2
20	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2

[0152]

[0153] 하기 표 5는 클러스터 개수가 10일 때 corona(부극성) 타입 부분 방전 데이터를 이용한 결과로서, 누적 위상원도우와 이동 개수가 (360개, 60개)일 때의 결과를 나타낸다.

[0154] [표 5]

PA	이상패턴탐지에서 참조원도우와 탐지 윈도우의 크기															
	50				100				150				200			
	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL	TP	FP	FN	DL
5	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2
10	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2
15	5	0	0	2.4	5	0	0	2.4	5	0	0	2.4	5	0	0	2.4
20	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2	5	0	0	2

[0155]

[0157] 상기 표 1-1 내지 표 5의 실험 결과를 분석하면, 전처리 과정의 누적 위상원도우와 이동 개수가 작은 값일수록 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 실험 변수들 중에서는 누적 위상원도우와 이동 개수가 (360개, 60개)일 때 가장 좋은 성능을 보였다. 60hz frequency를 사용했으므로 누적 위상원도우 360개는 6초 길이, 이동 위상 원도우 60개는 1초 간격의 이동을 의미한다. 따라서 delay 5는 5초의 탐지 딜레이를 의미한다.

[0158] 즉, 부분 방전이 발생하지 않은 정상 상태의 펄스 시퀀스 패턴을 모델링하고 이 모델을 이용하여 부분 방전 발생을 탐지하는 제안 방법은 실험에 사용된 모든 부분 방전 타입에 대해 좋은 성능을 보유함을 확인할 수 있다.

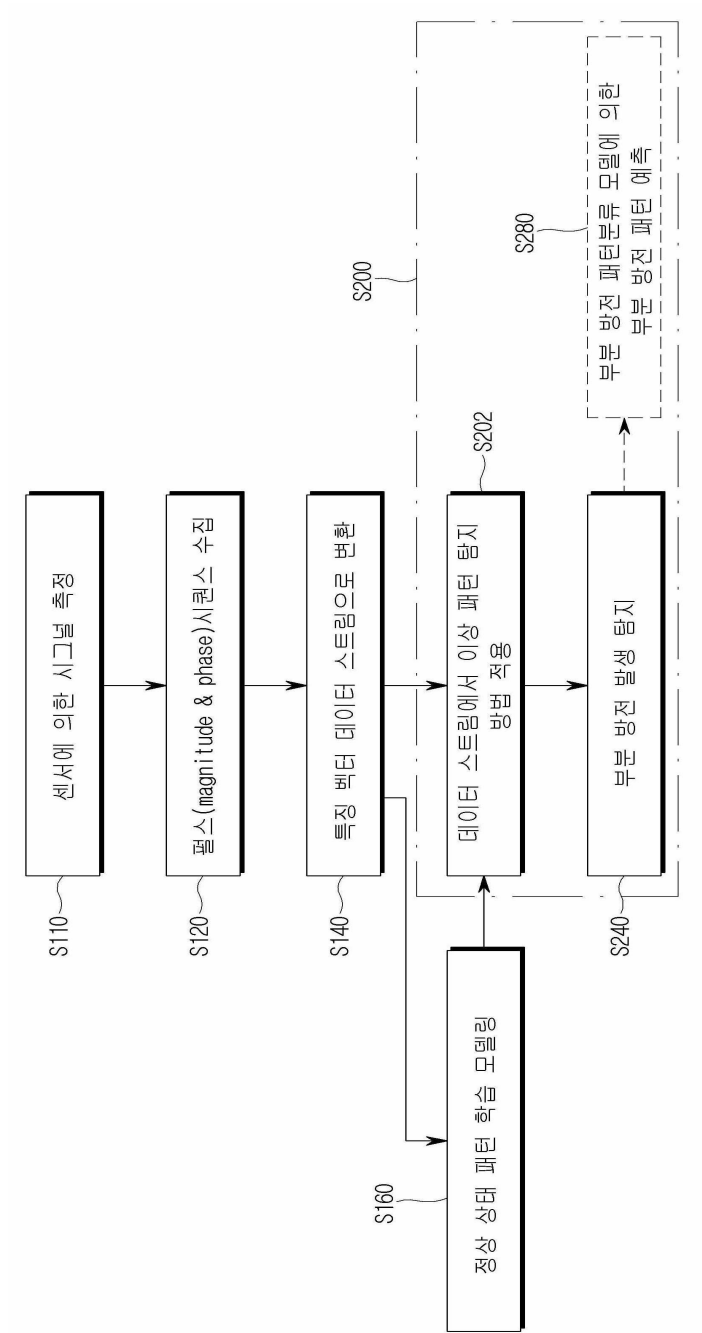
[0160] 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있으므로, 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

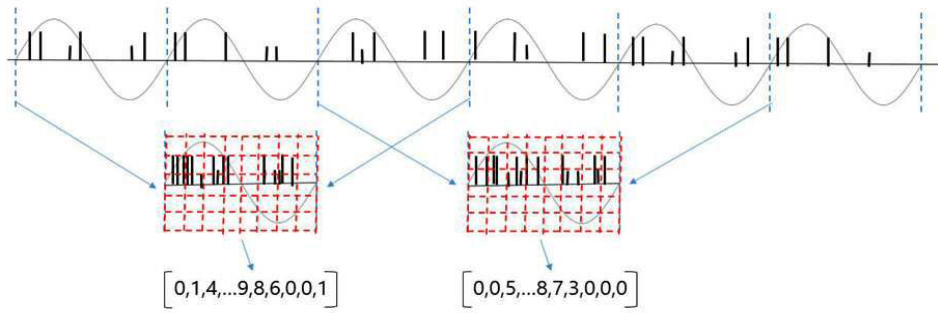
[0162] 120 : 벡터 스트림 획득 블록 121 : 시그널 측정부
 122 : 펄스 시퀀스 수집부 124 : 벡터 변환부
 140 : 모델 관리 블록 142 : 모델 생성부
 144 : 모델 학습부 147 : 정상 상태 패턴 모델 저장부
 148 : 부분 방전 패턴 분류 모델 저장부 160 : 비교 판정 블록
 162 : 이진값 스트림 생성부 164 : 발생 시점 판정부

도면

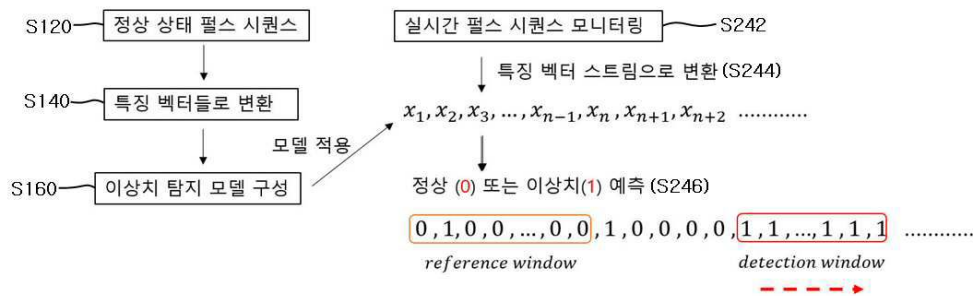
도면1



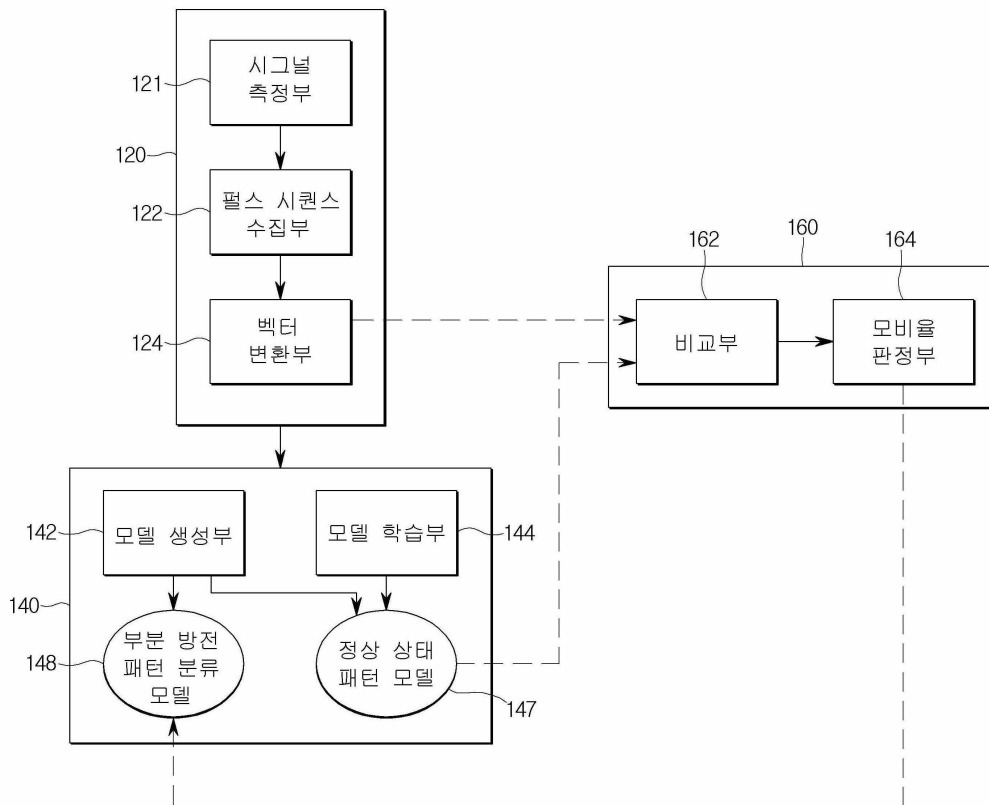
도면2



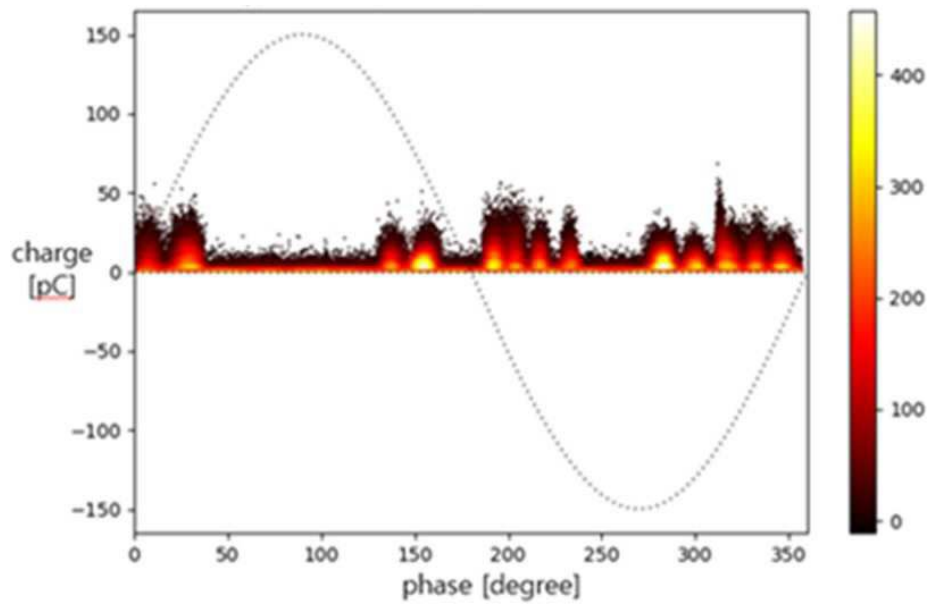
도면3



도면4



도면5



도면6a

