



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년09월26일
 (11) 등록번호 10-1444733
 (24) 등록일자 2014년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/12 (2006.01) **G01R 31/08** (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0125853
 (22) 출원일자 2012년11월08일
 심사청구일자 2012년11월08일
 (65) 공개번호 10-2014-0059415
 (43) 공개일자 2014년05월16일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020060040443 A*
 KR1020110114951 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국전기연구원
 경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)
 (72) 발명자
윤영우
 경상남도 김해시 장유면 율하2로 57 율상마을푸르지오3단지아파트 304동 402호
선종호
 경상북도 포항시 남구 연일읍 유강길9번길 62 대림아파트 101동 1101호
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
한라특허법인

전체 청구항 수 : 총 2 항

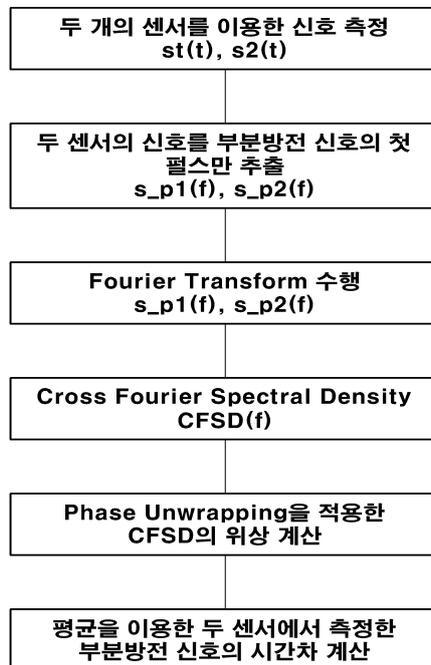
심사관 : 정종한

(54) 발명의 명칭 **전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법**

(57) 요약

본 발명은 부분방전의 첫 펄스만을 추출한 후 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하여 부분방전 신호의 진동(oscillation)으로 인한 오차를 해결함으로써, 부분방전 신호를 이용한 전력케이블의 결함 발생 위치 탐지에 대한 정확성을 향상시킬 수 있는 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

강동식

경상남도 창원시 진해구 해원로 45 우림필유아파트 105동 403호

이상화

경상남도 창원시 성산구 창원대로1209번길 22 프리빌리지2차 203동 304호

손채화

경상남도 창원시 성산구 창이대로881번길 19 대동황토방아파트 104동 1301호

조국희

경상남도 창원시 성산구 원이대로 774 성원아파트 302동 1902호

황돈하

경상남도 창원시 성산구 대암로 253 프리빌리지아파트 101동 602호

특허청구의 범위

청구항 1

부분방전감지용 센서를 이용하여 부분방전 신호를 측정하는 단계;

상기 측정된 부분방전 신호에서 첫 펄스를 추출하는 단계; 및

상기 첫 펄스가 추출된 부분방전 신호에 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하여 구한 위상차로 부분방전 신호의 발생 위치를 탐지하는 단계;

를 포함하여, 위치 탐지의 정확성을 높일 수 있도록 된 것을 특징으로 하는 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 위상차 기법을 이용하여 위상차를 구하는 단계는 부분방전 신호에 푸리에 변환(Fourier Transform), Cross Fourier Spectral Density), 위상 펼침(Phase Unwrapping)을 수행하여 위상차를 구하는 것을 특징으로 하는 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 부분방전 신호를 이용하여 전력케이블 내 결함 위치를 탐지할 수 있는 전력케이블의 부분방전 발생 위치 탐지 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 전기에너지의 사용량 증가와 더불어 전기에너지에 대한 도시에서의 수요가 높아짐으로써 도심 지역의 대용량 송전선의 필요성이 날로 증가하고 있다.

[0003] 이러한 대용량 송전선을 설치함에 있어서 도심지역 및 공장 등의 부하 밀집지역에 전력공급의 신뢰도 향상과 도시환경의 미화적 측면을 고려해 볼 때 높은 전주나 철탑을 세우고 전선을 절연체자로 지지하는 '가공선로' 보다는 전선 둘레를 절연지(絶緣紙)로 몇 겹이나 감고 기름을 먹여서 절연성을 충분히 지니게 하고 이를 땅에 묻는 지중 전력케이블이 적극 검토되고 있다.

[0004] 그런데 지중 전력케이블은 지중에 설치되어 접근성이 좋지 않기 때문에 전력케이블에 고장이 발생하는 경우에 막대한 수리 비용과 복구 시간이 필요하게 된다.

[0005] 따라서, 지중 전력케이블의 수리 비용 및 복구 시간을 절감하기 위해 지중 전력케이블의 상태를 감시 및 진단 하기 위한 장치 및 방법이 필요하다.

[0006] 한편, 지중 전력케이블의 고장을 유발하는 대다수의 원인은 절연파괴와 관계되며, 절연파괴의 징후로서 부분 방전 신호가 발생한다.

[0007] 부분방전(Partial Discharge)이란 절연시스템에서 발생하는 국부적인 전기방전 현상으로서, 절연체의 일부분에서 발생하여 전극 간에 완전한 절연파괴를 일으키지 않기 때문에 부분 방전이라 일컬어진다.

[0008] 부분방전은 설비의 제조 및 시공결함, 유지보수결함, 운영상의 스트레스, 자연 열화 등의 원인으로 절연 내력을 잃으면서 발생할 수 있는데, 통상적으로 이러한 부분방전의 검출은 부분방전 중에 발생하는 에너지의 변환을 감지함으로써 수행될 수 있다.

[0009] 따라서 지중 전력케이블의 부분방전 발생위치를 알면 결함이 발생된 부분의 케이블만을 교체함으로써 고장을 간단히 해소할 수 있으므로 비용적인 측면에서 큰 이점이 있다.

[0010] 상기 전력케이블 내의 부분방전 발생 위치를 탐지하기 위한 기법으로 위상차(Phase Difference) 기법이 널리 이용되고 있다.

[0011] 상기 위상차 기법은 두 신호의 시간영역에서의 시간차이는 주파수영역에서 두 신호의 위상차라는 사실에 기반하여 개발된 기법이다.

[0012] 도 1은 위상차 기법을 설명하기 위한 개념도로서, 총 길이가 1m 인 전력케이블의 양단에 각각 센서 1과 센서 2를 설치하고, 전력케이블 내의 f m 지점에서 부분방전(혹은 결함)이 발생하였다고 가정하기로 한다.

[0013] 부분방전 발생 위치 탐지 방법을 설명하면, 전력케이블의 f m 지점에서 발생된 부분방전 신호는 케이블의 양 방향으로 동일하게 전송되므로, 센서 1에서 측정된 부분방전 신호는 f m만큼 전송되어 측정되며, 센서 2에서 측정된 부분방전 신호는 1-f m만큼 전송되어 측정된다.

[0014] 이때, 전력케이블 내의 부분방전의 속도를 v라고 하면, 센서 1에서 측정된 부분방전 신호는 발생 후 수학적 식 1과 같이 t_{s1} 이후에 측정되고, 센서 2에서 측정된 부분방전 신호는 발생 후 수학적 식 2와 같이 t_{s2} 이후에 측정된다.

수학적 식 1

[0015]
$$t_{s1} = \frac{f}{v}$$

수학적 식 2

[0016]
$$t_{s2} = \frac{l-f}{v}$$

[0017] 따라서, 두 센서로부터 측정된 부분방전 신호의 시간 차 Δt는 수학적 식 3과 같으며, 전력케이블의 총길이(l)와 부분방전 속도(v)는 주어진 값(미리 정해진 값)이므로 Δt값을 알 수 있으면 전력케이블 내의 부분방전 발생 위치 f를 추정할 수 있다.

수학적 식 3

[0018]
$$\Delta t = t_{s1} - t_{s2} = \frac{l-2f}{v}$$

[0019] 도 2는 도 1의 2개의 센서에서 측정된 모의 부분방전 신호를 보여주는 것으로서, 실제 22.9kV XLPE 절연 CNCV 60sq 전력케이블에 모의 부분방전 신호를 인가하여 두 개의 센서를 이용하여 측정된 신호로서 실제 시간차 Δt값은 616 ns이다.

[0020] 이때, 파란색 신호가 센서 1의 신호이고, 빨강색 신호가 센서 2의 신호이다.

[0021] 상기 빨강색 신호의 크기가 파란색 신호에 비해 작고 상승 시간(rising time)이 큰 이유는 센서 2에서 측정된 부분방전 신호가 시간차 Δt만큼 전력케이블 내에서 더 멀리 전송되었기 때문이다.

[0022] 그러나, 도 2에 도시한 바와 같이 신호의 크기(전압)와 상승 시간(rising time)이 변화하고 첫 펄스 신호 이

후에 진동(oscillation)하여 신호가 사라지는 부분방전 신호에 위상차 기법을 적용하는 경우 큰 오차가 발생하는 문제점이 있다.

[0023] 보다 구체적으로서 설명하면, 도 2에서 두 개의 신호에 기존의 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하여 시간차 Δt 값을 구해보면 도 3과 같다.

[0024] 도 3에서 시간차의 평균값은 약 376 ns가 되어 실제 616 ns와 커다란 차이를 나타낸다.

[0025] 이는 도 2에서 볼 수 있는 바와 같이 부분방전 신호 파형이 첫 피크 신호 이후에 진동(oscillation)하여 신호가 사라지게 되는데, 이 진동(oscillation)하는 신호에 의한 오차에 기인한 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0026] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 발명한 것으로서, 부분방전의 첫 펄스만을 추출한 후 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하여 부분방전 신호의 진동(oscillation)으로 인한 오차를 해결함으로써, 부분방전 신호를 이용한 전력케이블의 결함 발생 위치 탐지에 대한 정확성을 향상시킬 수 있는 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0027] 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법은 부분방전감지용 센서를 이용하여 부분방전 신호를 측정하는 단계; 상기 측정된 부분방전 신호에서 첫 펄스를 추출하는 단계; 및 상기 첫 펄스가 추출된 부분방전 신호에 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하여 구한 위상차로 부분방전 신호의 발생 위치를 탐지하는 단계;를 포함하여, 위치 탐지의 정확성을 높일 수 있도록 된 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 따른 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법의 장점을 설명하면 다음과 같다.

[0029] 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하기 전에 부분방전 신호의 첫 펄스를 추출하고, 추출된 부분방전 신호에 위상차 기법을 적용하여 전력케이블 내 부분방전 발생 위치를 추정하면 기존의 위상차 기법의 성능을 향상시켜 위치 탐지의 정확성을 높일 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 전력케이블 내의 부분방전 신호 측정방법을 설명하기 위한 개념도

도 2는 2개의 센서에서 측정한 모의 부분방전 신호를 보여주는 그래프

도 3은 기존의 위상차(Phase Difference) 기법을 적용하여 추정한 시간차 Δt 를 보여주는 그래프

도 4는 본 발명에 따른 부분방전 발생위치 탐지방법을 보여주는 순서도

도 5는 본 발명에 따라 모의 부분방전 신호의 첫 펄스만 추출한 신호의 파형도

도 6은 본 발명에 따른 기법을 적용하여 추정한 시간차 Δt 를 보여주는 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세하게 설명하기로 한다.

[0032] 본 발명은 두 센서로부터 측정된 부분방전 신호의 첫 펄스만을 추출한 후 PD(Phase Difference) 기법을 적용

함으로써 전력케이블 내 부분방전 발생 위치를 정확하게 탐지할 수 있는 전력케이블의 부분방전 발생위치 탐지 방법에 관한 것이다.

[0033] 본 발명의 일실시예에 따라 전력케이블은 총 길이가 l (length)이며, 전력케이블의 양단에 각각 부분방전감지용 센서를 1개씩 설치한다.

[0034] 예를 들어 총길이 l 인 전력케이블의 어느 한 부분, 즉 f m 지점에 부분방전이 발생했다고 가정하자.

[0035] 상기 f m 지점에서 발생된 부분방전 신호는 각각 f , $l-f$ 거리만큼 떨어져 있는 센서 1과 센서 2에 전송되고, 이때 센서 1과 센서 2에 신호가 전송되는데 걸린 시간은 t_{s1} , t_{s2} 이며, 전송 속도는 v 이다.

[0036] 본 발명에서는 먼저 상기 두 개의 센서를 이용하여 전력케이블 내의 부분방전 신호 $s_1(t)$, $s_2(t)$ 를 각각 측정한다.

[0037] 그 다음, 상기 센서로부터 측정된 부분방전 신호 $s_1(t)$, $s_2(t)$ 에서 첫 펄스($s_{p1}(t)$, $s_{p2}(t)$)만을 추출한다.

[0038] 위상차(Phase Difference) 기법은 시간영역에서의 두 신호의 시간차(Δt)는 주파수 영역에서 두 신호(t_{s1} , t_{s2})의 위상차 라는 사실에 기반을 둔 기법으로서, 첫 펄스만 추출한 부분방전 신호 t_{s1} , t_{s2} 의 시간차를 위상차 기법에 이용하여 부분방전 신호의 정확한 위치를 추정할 수 있다.

[0039] 계속해서, 푸리에 변환(Fourier Transform)을 수행하고, 푸리에 변환을 적용한 두 센서 1과 센서 2의 신호를 표현하면 각각 수학식 4 및 수학식 5와 같다.

수학식 4

$$S_{p1}(f) = \int_0^T s_{p1}(t) e^{-j\omega t} dt$$

[0040]

수학식 5

$$S_{p2}(f) = \int_0^T s_{p2}(t) e^{-j\omega t} dt$$

[0041]

[0042] 여기서, $\omega=2\pi f$ 는 각속도, T 는 신호측정 시간을 의미한다.

[0043] 그 다음, Cross Fourier Spectral Density(CFSD)를 수행하며, 두 신호의 CFSD 함수는 수학식 6과 같이 표현할 수 있고, CFSD의 위상, $\Delta\phi$ 이 두 센서의 위상차에 해당한다.

수학식 6

$$CFSD(f) = S_{p1}^*(f) \cdot S_{p2}(f) = |CFSD(f)| e^{-j\Delta\phi(f)}$$

[0044]

[0045] CFSD의 위상은 수학식 7과 같이 표현할 수 있으며, 수학식 3과 수학식 7을 이용하면 전력케이블 내의 부분방전 발생 위치를 추정할 수 있다.

[0046] 이때, 전력케이블의 길이와 전력케이블 내의 부분방전 속도는 주어진 값이므로, 전력케이블 내의 부분방전 발생 위치를 추정하려면 두 센서에서 측정된 신호의 위상차를 구하여 시간차를 계산하면 된다.

수학식 7

$$\Delta\phi(f) = \arctan\left(\frac{\text{Imaginary}(CFSD(f))}{\text{Real}(CFSD(f))}\right) = w\Delta t = 2\pi f \times \frac{l-2f}{v}$$

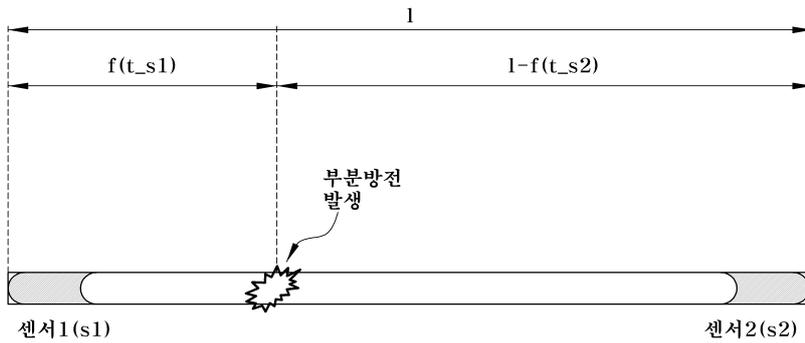
[0048] 하지만, 위상차(Phase Difference) 기법은 수학식 7에서 볼 수 있는 것처럼 삼각함수로 표현되므로 그 범위가 $-\pi$ 에서 $+\pi$ 로 한정되어 있다.

[0049] 따라서, 위상 펼침(Phase Unwrapping) 알고리즘을 적용하여 CFSD의 위상 $\Delta\phi$ 을 구하면 된다.

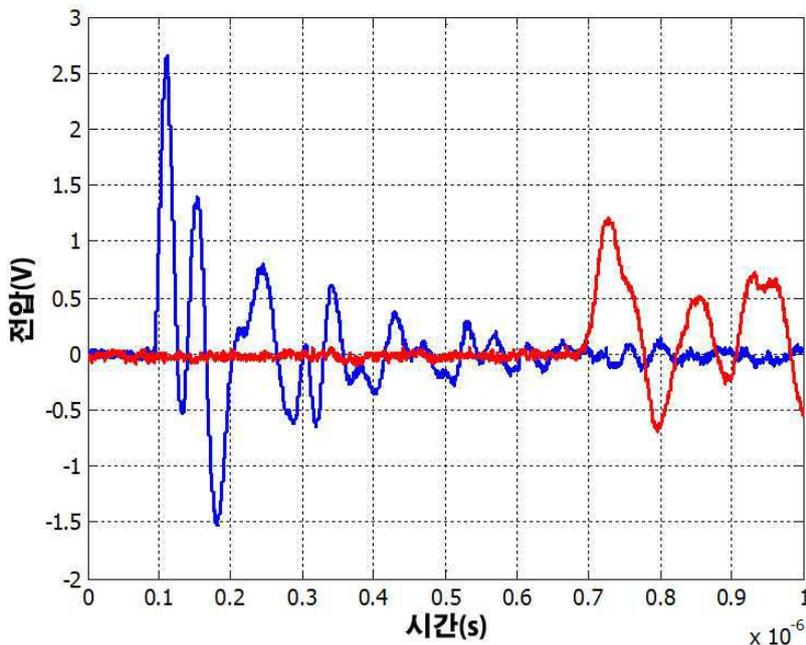
[0050] 본 발명에 의하면 부분방전감지용 센서로부터 검출된 신호에서 첫 펄스만을 추출한 후 이 신호에 위상차 기법(Phase Difference)을 적용함으로써, 기존의 첫 펄스 이후에 진동(oscillation)에 의한 추정 오차 발생을 최소화하여 전력케이블 내의 부분방전 발생 위치를 정확하게 추정할 수 있다.

도면

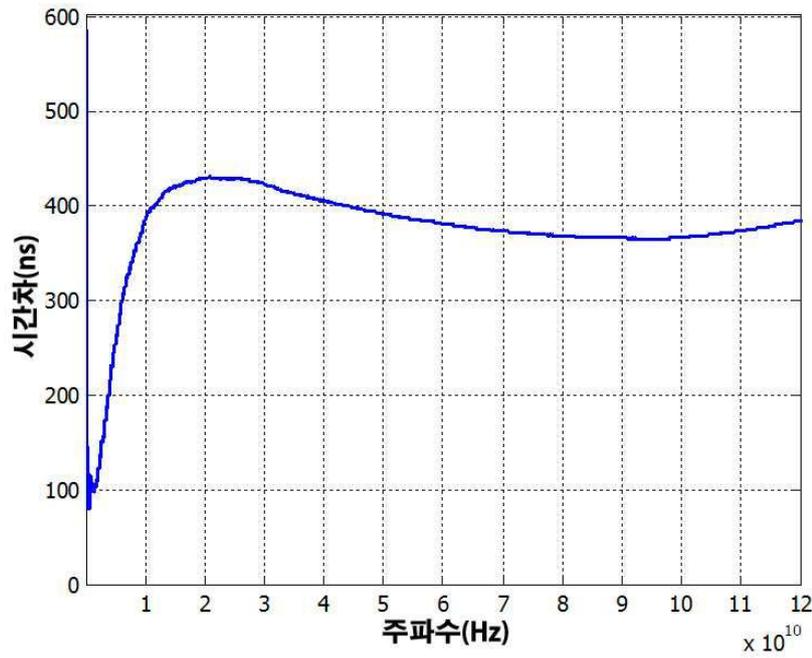
도면1



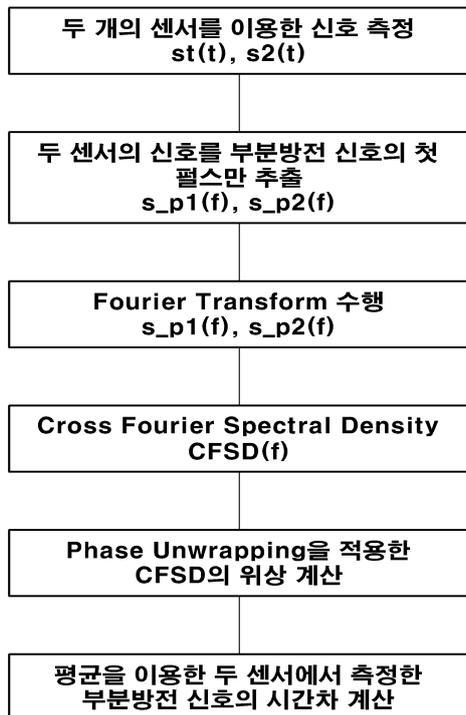
도면2



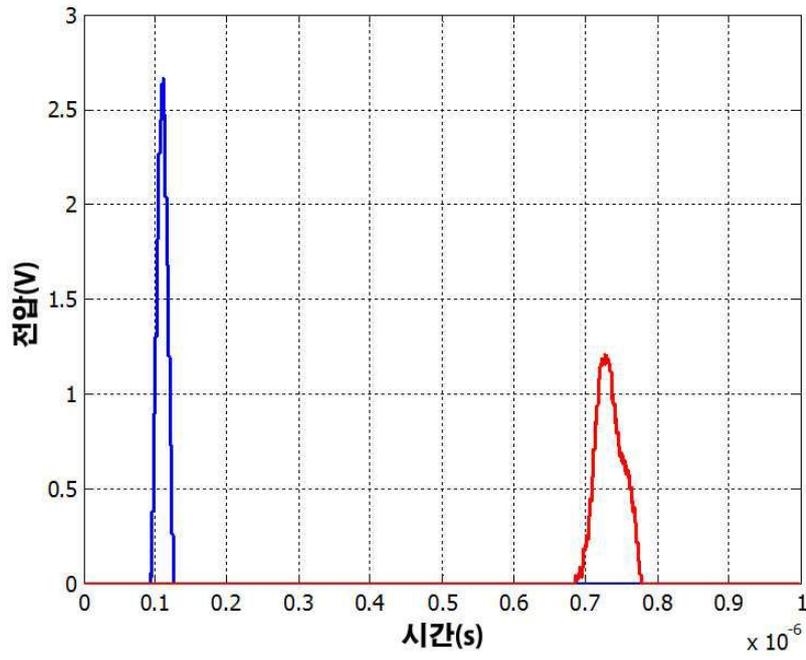
도면3



도면4



도면5



도면6

