



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년08월31일
(11) 등록번호 10-0978902
(24) 등록일자 2010년08월24일

(51) Int. Cl.

H04B 7/01 (2006.01) H04B 1/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0050328

(22) 출원일자 2008년05월29일

심사청구일자 2008년05월29일

(65) 공개번호 10-2009-0124241

(43) 공개일자 2009년12월03일

(56) 선행기술조사문헌

Y.Guo, et al, "Simplified algorithms for removal of the effect of exponentially decaying DC-offset on the Fourier algorithm", IEEE Transactions on Power Delivery, 18권 3호, 2003.7., pp.711-717.*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

명지대학교 산학협력단

경기 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교

(72) 발명자

강상희

서울특별시 서초구 잠원동 60-7 녹원한신아파트 101-605

이동규

경기도 용인시 처인구 남동 615-2 성현빌딩 512호

(74) 대리인

특허법인명문

전체 청구항 수 : 총 7 항

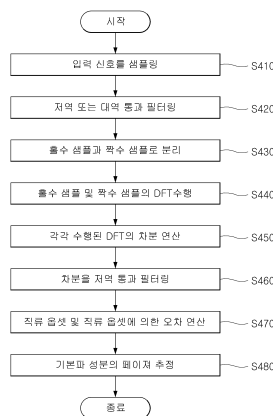
심사관 : 성경아

(54) 지수 감쇄하는 직류 옵셋 영향을 제거한 푸리에 변환 기반페이저 추정 방법 및 그 장치

(57) 요약

지수 감쇄하는 직류 옵셋 영향을 제거한 푸리에 변환 기반 페이저 추정 방법 및 그 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이저 추정 방법은 입력 신호를 샘플링하여 한 주기 데이터에 대한 샘플들을 적어도 두 개 이상의 샘플 그룹들로 분리하는 단계; 분리된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 이산 푸리에 변환(DFT: discrete fourier transform)을 수행하는 단계; 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 DFT를 기초로 상기 입력 신호에 포함된 직류 옵셋(offset)을 연산하고, 연산된 상기 직류 옵셋을 이용하여 상기 직류 옵셋에 의한 오차를 연산하는 단계; 및 상기 입력 신호에 대한 DFT로부터 연산된 상기 직류 옵셋에 의한 오차를 제거하여 상기 입력 신호에 포함되는 기본파 성분의 페이저를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



특허청구의 범위

청구항 1

입력 신호를 샘플링하여 한 주기 데이터에 대한 샘플들을 적어도 두 개 이상의 샘플 그룹들로 분리하는 단계;
 분리된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 이산 푸리에 변환(DFT: discrete fourier transform)을 수행하는 단계;
 상기 샘플 그룹들 중 두 개 샘플 그룹에 대한 DFT의 차분을 연산하고, 상기 DFT의 차분을 기초로 상기 입력 신호에 포함된 직류 오프셋(offset)을 연산하며, 연산된 상기 직류 오프셋을 이용하여 상기 직류 오프셋에 의한 오차를 연산하는 단계; 및
 상기 입력 신호에 대한 DFT로부터 연산된 상기 직류 오프셋에 의한 오차를 제거하여 상기 입력 신호에 포함되는 기본파 성분의 페이지를 추정하는 단계
 를 포함하는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은
 상기 차분에 의해 증폭된 노이즈를 제거하기 위해 연산된 상기 차분을 기 설정된 필터링 주파수로 저역 통과 필터링하는 단계
 를 더 포함하고,
 상기 연산하는 단계는
 상기 저역 통과 필터링된 상기 차분을 이용하여 상기 직류 오프셋을 연산하는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 직류 오프셋의 지수항은
 상기 입력 신호가 아래 <수학식 1>과 같고 상기 그룹들이 홀수 샘플 그룹 및 짝수 샘플 그룹인 경우 아래 <수학식 2>에 의해 연산되는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법.

<수학식 1>

$$i[n] = A_0 e^{-n\Delta t/\tau} + \sum_{k=1}^{N/2-1} A_k \cos\left(\frac{2\pi k}{N}n + \phi_k\right)$$

여기서, $i[n]$ 은 입력 신호, A_0 및 τ 는 직류 오프셋의 크기 및 시정수, A_k 및 ϕ_k 는 k 조파 정현파 성분의 크기 및 위상각, Δt 는 샘플링 간격, N 은 주기당 샘플링 수를 말한다.

<수학식 2>

$$E = \frac{K_{Im}}{K_{Re} \sin(2\pi/N) - K_{Im} \cos(2\pi/N)}$$

여기서, E 는 직류 오프셋의 지수항, K_{Im} 은 홀수 샘플 그룹에 대한 DFT와 짝수 샘플 그룹에 대한 DFT의 차분의 허수부, K_{Re} 은 홀수 샘플 그룹에 대한 DFT와 짝수 샘플 그룹에 대한 DFT의 차분의 실수부를 말한다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 직류 옵셋의 크기는

연산된 상기 직류 옵셋의 지수항을 기초로 아래 <수학식 3>에 의해 연산되는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법.

<수학식 3>

$$I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd} = \frac{2}{N} A_0 \cdot \frac{1 - E^N}{1 + E \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N}}}$$

여기서, I_{DFT}^{even} 는 짝수 샘플 그룹에 대한 DFT, I_{DFT}^{odd} 는 홀수 샘플 그룹에 대한 DFT를 말한다.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 직류 옵셋에 의한 오차는

상기 그룹들이 홀수 샘플 그룹 및 짝수 샘플 그룹인 경우 연산된 상기 직류 옵셋을 기초로 아래 <수학식 4>에 의해 연산되는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법.

<수학식 4>

$$I_{DFT}^{dc} = (I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd}) \cdot \frac{1 + E \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N}}}{1 - E \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N}}}$$

여기서, I_{DFT}^{dc} 는 직류 옵셋에 의한 오차, 여기서, I_{DFT}^{even} 는 짝수 샘플 그룹에 대한 DFT, I_{DFT}^{odd} 는 홀수 샘플 그룹에 대한 DFT, E는 직류 옵셋의 지수항, N은 주기당 샘플링 수를 말한다.

청구항 6

샘플링된 입력 신호의 한 주기 데이터에 대한 샘플들을 적어도 두 개 이상의 샘플 그룹들로 분리하는 분리부;

분리부에 의해 분리된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 이산 푸리에 변환(DFT)을 수행하는 DFT부;

상기 DFT부에 의해 수행된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 DFT의 차분을 연산하는 차분 연산부;

상기 차분 연산부에 의해 연산된 상기 DFT의 차분을 기초로 상기 입력 신호에 포함된 직류 옵셋(offset)을 연산하고, 연산된 상기 직류 옵셋을 이용하여 상기 직류 옵셋에 의한 오차를 연산하는 직류 옵셋 연산부; 및

상기 입력 신호에 대한 DFT로부터 상기 직류 옵셋 연산부에 의해 연산된 상기 직류 옵셋에 의한 오차를 제거하여 상기 입력 신호에 포함되는 기본파 성분의 페이지를 추정하는 페이지 추정부

를 포함하는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치는

상기 차분 연산부에 의한 차분 연산에 의해 증폭되는 노이즈를 제거하기 위해 상기 차분을 기 설정된 필터링 주파수로 저역 통과 필터링하여 상기 직류 옵셋 연산부로 출력하는 차분 필터부

를 더 포함하는 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 푸리에 변환 기반 페이지 추정에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 적어도 하나 이상의 직류 옵션을 포함하는 입력 신호에서 직류 옵션에 의한 영향을 제거하여 신호의 페이지를 정확하게 추정할 수 있는 지수 감쇄하는 직류 옵션 영향을 제거한 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 이산 푸리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform)은 각종 보호 및 제어 기기에서 임의의 주파수 성분의 페이지를 추정하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 방법으로, i)입력 신호에 포함된 최고조파 성분의 주파수가 샘플링 주파수의 1/2보다 낮고 ii)입력 신호에 지수 감쇄하는 직류(DC) 옵션 성분과 같은 비주기 신호가 포함되어 있지 않는 경우 등과 같은 조건이 만족되는 경우 페이지를 정확하게 추정할 수 있다.

[0003] 여기서, i)의 경우는 저역 또는 대역 통과 필터를 사용하여 입력 신호를 필터링함으로써 만족시킬 수 있으나, ii)의 경우는 정현파 성분 이외에 지수 감쇄하는 직류 옵션 성분을 포함하고 있는 고장 전류에 대해서는 만족시킬 수 없다.

[0004] 즉, 고장 발생 시 흐르는 고장 전류는 정현파 성분과 지수 감쇄하는 직류 옵션 성분의 조합으로 표현될 수 있는데, 고장 저항이 있는 경우 고장 전류는 두 개 이상의 직류 옵션 성분을 포함하게 된다.

[0005] 또한 계통에 흐르는 전류는 변류기(CT)를 통해 측정되며, CT 회로의 영향에 의해 보호 계전기의 입력으로 사용되는 변류기 2차 전류에는 또 다른 직류 옵션 성분이 포함된다.

[0006] 지수 감쇄하는 직류 옵션 성분은 비주기적인 신호로써, 모든 주파수 대역에 임의의 값을 갖는 특성을 보이므로 DFT를 이용하여 페이지를 연산하는 경우 정확도에 큰 영향을 미치게 되고, 이는 보호 계전기의 오/부동작 및 계측 기기의 정밀도 저하의 원인이 된다. 따라서 고성능의 보호 및 제어 기기를 구현하기 위해서는 페이지 추정 시 지수 감쇄하는 직류 옵션에 대한 대책을 마련해야 한다.

[0007] 직류 옵션의 영향을 감소시키거나 제거하기 위한 방법으로, 디지털 미믹(mimic) 필터를 사용하는 방법이 제안되었는데, 이 방법은 미믹 필터의 설계 시 직류 옵션의 시정수를 특정한 값으로 가정한다.

[0008] 하지만, 직류 옵션의 시정수는 고장 발생 순간의 계통 구성, 고장 거리 및 고장 저항 등에 의해 변하는 값이므로, 고장 전류에 포함된 직류 옵션의 시정수 값이 필터 설계 시 가정된 시정수 값과 다를 경우 오차를 발생시키게 된다.

[0009] 이런 시정수 값 차이에 의한 오차를 극복하기 위해 푸리에 변환 결과를 이용하여 직류 옵션 성분을 연산하고, 연산된 직류 옵션 성분을 이용하여 푸리에 필터의 출력을 보상하는 방법들(Modified DFT)이 제안되었다.

[0010] 이 방법들은 직류 옵션의 시정수에 상관없이 기본파 성분과 성분의 페이지를 정확하게 연산할 수 있으나, 푸리에 변환을 위한 한 주기 데이터 이외에 직류 옵션 성분을 계산하기 위해 두 개의 샘플이 추가적으로 필요하며, 고주파 노이즈에 취약하다는 단점이 있다.

[0011] 푸리에 변환을 위한 한 주기 데이터 이외에 추가적인 샘플을 사용하지 않기 위해 저역 통과 필터의 차단 주파수보다 높은 고조파 성분의 DFT 결과를 이용하여 직류 옵션 성분을 추정하는 방법과 푸리에 변환의 변환 속도를 개선하기 위해 순시 페이지(instantaneous phasor) 개념을 도입하고 노치(notch) 필터를 이용하여 직류 옵션의 영향을 제거하는 방법이 제안되었는데, 이 방법들은 직류 옵션의 영향을 정확하게 제거할 수 있으나 랜덤 노이즈나 고조파 성분의 영향을 크게 받는다.

[0012] 한편, 한 주기 데이터를 홀수 샘플들과 짝수 샘플들로 나누어 두 개의 적분을 수행하고, 이를 이용하여 직류 성분을 추정하는 PS(Partial Sum) 기반의 방법이 제안되었는데, 이 방법은 한 주기 데이터만을 사용할 뿐만 아니라 노이즈에도 강인한 반면, 입력 신호에 두 개 이상의 직류 옵션 성분이 포함된 경우 오차를 유발하는 단점이 있다.

발명의 내용

[0013] 본 발명의 실시예에 따른 목적은, 입력 신호에 포함되는 적어도 하나 이상의 직류 옵션 성분에 의한 영향을 제

거하여 기본과 성분의 페이지를 정확하게 추정할 수 있는 지수 감쇄하는 직류 오프셋 영향을 제거한 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법 및 그 장치를 제공하는데 있다.

[0014] 본 발명의 실시예에 따른 다른 목적은, 입력 신호의 한 주기 데이터만을 사용하여 기본과 성분의 페이지를 안정적으로 추정할 수 있는 지수 감쇄하는 직류 오프셋 영향을 제거한 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법 및 그 장치를 제공하는데 있다.

[0015] 상기 목적을 달성하기 위한, 본 발명의 한 측면에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은 입력 신호를 샘플링하여 한 주기 데이터에 대한 샘플들을 적어도 두 개 이상의 샘플 그룹들로 분리하는 단계; 분리된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 이산 푸리에 변환(DFT: discrete fourier transform)을 수행하는 단계; 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 DFT를 기초로 상기 입력 신호에 포함된 직류 오프셋(offset)을 연산하고, 연산된 상기 직류 오프셋을 이용하여 상기 직류 오프셋에 의한 오차를 연산하는 단계; 및 상기 입력 신호에 대한 DFT로부터 연산된 상기 직류 오프셋에 의한 오차를 제거하여 상기 입력 신호에 포함되는 기본과 성분의 페이지를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 나아가, 상기 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은 상기 샘플 그룹들 중 두 개 샘플 그룹에 대한 DFT의 차분을 연산하고, 상기 차분에 의해 증폭된 노이즈를 제거하기 위해 연산된 상기 차분을 기 설정된 필터링 주파수로 저역 통과 필터링하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 한 측면에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치는 샘플링된 입력 신호의 한 주기 데이터에 대한 샘플들을 적어도 두 개 이상의 샘플 그룹들로 분리하는 분리부; 분리부에 의해 분리된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 이산 푸리에 변환(DFT)을 수행하는 DFT부; 상기 DFT부에 의해 수행된 상기 샘플 그룹들 각각에 대한 DFT를 기초로 상기 입력 신호에 포함된 직류 오프셋(offset)을 연산하고, 연산된 상기 직류 오프셋을 이용하여 상기 직류 오프셋에 의한 오차를 연산하는 직류 오프셋 연산부; 및 상기 입력 신호에 대한 DFT로부터 상기 직류 오프셋 연산부에 의해 연산된 상기 직류 오프셋에 의한 오차를 제거하여 상기 입력 신호에 포함되는 기본과 성분의 페이지를 추정하는 페이지 추정부를 포함할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0018] 상기 목적 외에 본 발명의 다른 목적 및 특징들은 첨부 도면을 참조한 실시 예에 대한 설명을 통하여 명백히 드러나게 될 것이다.

[0019] 이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 지수 감쇄하는 직류 오프셋 영향을 제거한 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법 및 그 장치를 첨부된 도 1 내지 도 8을 참조하여 상세히 설명한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치에 대한 구성도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치는 샘플링부(110), 샘플링 필터부(120), 분리부(130), DFT부(140), 차분 연산부(150), 차분 필터부(160), 직류 오프셋 연산부(170) 및 페이지 추정부(180)를 포함한다.

[0022] 샘플링부(110)는 장치로 입력되는 입력 신호, 예를 들어 전류 신호, 전압 신호 등을 샘플링 주파수로 샘플링하여 샘플링된 샘플들을 출력한다.

[0023] 이때, 샘플링부(110)는 아날로그 디지털 변환기(ADC)를 포함하는 것이 바람직하고, ADC의 성능은 입력 신호의 한 주기에 대한 샘플들 수 즉, 샘플링 주파수에 따라 달라질 수 있으며, 계측 노이즈를 최소화하기 위해 입력 신호를 두 개의 ADC를 사용하여 서로 반대 부호를 갖도록 샘플링할 수도 있다.

[0024] 여기서, 샘플링부(110)로 입력되는 입력 신호는 장치로 직접 입력되는 신호일 수도 있지만, 아날로그 필터에 의한 필터링된 신호일 수도 있다. 예컨대, 장치로 입력되는 입력 신호가 아날로그 필터에 의해 저역 또는 대역 통과 필터링된 후 샘플링부(110)로 입력될 수 있다.

[0025] 샘플링 필터부(120)는 샘플링부(110)에 의해 샘플링된 샘플들을 기 설정된 필터링 주파수로 저역 또는 대역 통과 필터링한다.

[0026] 여기서, 샘플링 필터부(120)는 $N/4$ 조파(N 은 주기당 샘플링 수) 이상의 성분을 제거하는 저역 또는 대역 통과 필터인 것이 바람직하다.

[0027] 분리부(130)는 샘플링 필터부(120)에 의해 저역 또는 대역 통과 필터링된 한 주기 데이터의 샘플들을 적어도 두 개 이상의 샘플 그룹들로 분리한다.

[0028] 이때, 분리부는 한 주기 데이터의 샘플들을 일정 간격을 갖는 샘플 그룹들로 분리할 수 있다. 예컨대, 분리부는 한 주기 데이터의 샘플들을 홀수 샘플 그룹과 짝수 샘플 그룹의 두 샘플 그룹들로 분리하거나, 샘플간의 간격이 일정한 세 개 이상의 그룹들로 분리할 수 있는데, 샘플 수가 N개이고 그룹을 세 개로 분리하는 경우 첫 번째 그룹은 1, 4, 7, ..., N-2의 샘플들로 구성되고, 두 번째 그룹은 2, 5, 8, ..., N-1의 샘플들로 구성되며, 세 번째 그룹은 3, 6, 9, ..., N의 샘플들로 구성될 수 있다.

[0029] 이하, 본 발명에서는 한 주기 데이터의 샘플들을 홀수 샘플 그룹(이하, "홀수 샘플"이라 칭함)과 짝수 샘플 그룹(이하, "짝수 샘플"이라 칭함)으로 분리하는 것으로 설명한다.

[0030] DFT부(140)는 분리부(130)에 의해 분리된 홀수 샘플 및 짝수 샘플에 대한 DFT를 수행한다.

[0031] 여기서, 홀수 샘플에 대한 DFT 및 짝수 샘플에 대한 DFT를 구하는 과정에 대해 보호 계전기를 예로 하여 설명하면 다음과 같다.

[0032] 먼저, 보호 계전기에서 측정되는 전류 신호는 <수학식 1>과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

[0033]
$$i[n] = A_0 e^{-n\Delta t/\tau} + \sum_{k=1}^{N/2-1} A_k \cos\left(\frac{2\pi k}{N}n + \phi_k\right)$$

[0034] 여기서, $i[n]$ 은 전류 신호를 말하고, A_0 및 τ 는 직류 성분 크기의 크기 및 시정수를 말하고, A_k 및 ϕ_k 는 k조파 성분 크기의 크기 및 위상각을 말하고, Δt 는 샘플링 간격을 말하고, N은 주기당 샘플링 수를 말한다.

[0035] <수학식 1>과 같은 전류 신호의 DFT에 의한 전력 주파수 성분의 페이저는 <수학식 2>에 의해 계산된다.

수학식 2

[0036]
$$I_{DFT} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ i(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}n} \right\} = I_{DFT}^{1th} + I_{DFT}^{dc}$$

[0037]
$$I_{DFT}^{1th} = A_1 \cdot e^{j\phi_1}$$

[0038]
$$I_{DFT}^{dc} = \frac{2}{N} \cdot A_0 \cdot \frac{1 - E^N}{1 - E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}}}, \quad E = e^{-\Delta t/\tau}$$

[0039] 여기서, I_{DFT}^{1th} 는 전류 신호의 기본파 성분에 대한 DFT를 말하고, I_{DFT}^{dc} 는 전류 신호의 직류 성분 크기에 대한 DFT를 말하고, E는 직류 성분 크기의 지수항을 말한다.

[0040] <수학식 2>의 전류 신호에 대한 DFT를 홀수 샘플에 대한 DFT와 짝수 샘플에 대한 DFT로 분해하면 <수학식 3>과 나타낼 수 있고, <수학식 3>을 통해 짝수 샘플에 대한 DFT 및 홀수 샘플에 대한 DFT를 <수학식 4>와 <수학식 5>와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$\begin{aligned}
 I_{DFT} &= \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ i(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}n} \right\} \\
 &= \frac{2}{N} \cdot \left\{ \sum_{n=0}^{N/2-1} i(2n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}2n} \right\} \\
 &\quad + \frac{2}{N} \cdot \left\{ \sum_{n=0}^{N/2-1} i(2n+1) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}(2n+1)} \right\} \\
 &= I_{DFT}^{even} + I_{DFT}^{odd}
 \end{aligned}$$

수학식 4

$$\begin{aligned}
 I_{DFT}^{even} &= \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N/2-1} i[2n] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}2n} \\
 &= \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N/2-1} \left(A_0 E^{2n} + A_1 \cos\left(\frac{2\pi}{N}2n + \phi_1\right) \right) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}2n} \\
 &= \frac{1}{2} A_1 e^{j\phi_1} + \frac{2}{N} A_0 \sum_{n=0}^{N/2-1} \left(E^{2n} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}2n} \right) \\
 &= \frac{1}{2} A_1 e^{j\phi_1} + \frac{2}{N} A_0 \frac{1 - E^N}{1 - (E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}})^2}
 \end{aligned}$$

수학식 5

$$\begin{aligned}
 I_{DFT}^{odd} &= \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N/2-1} i[2n+1] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}(2n+1)} \\
 &= \frac{1}{2} A_1 e^{j\phi_1} + \frac{2}{N} E e^{-j\frac{2\pi}{N}} A_0 \frac{1 - E^N}{1 - (E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}})^2}
 \end{aligned}$$

DFT부(140)는 <수학식 4> 및 <수학식 5>와 같이 짝수 샘플에 대한 DFT 및 홀수 샘플에 대한 DFT를 수행한다.

차분 연산부(150)는 DFT부(140)에 의해 수행된 짝수 샘플에 대한 DFT와 홀수 샘플에 대한 DFT의 차분을 연산한다.

물론, 차분 연산부(150)는 홀수 샘플에 대한 DFT와 짝수 샘플에 대한 DFT의 차분을 연산할 수도 있으며, 이는 장치에서 페이지를 연산하는 과정 또는 방법에 따라 달라질 수 있다.

[0053] 여기서, 차분 연산부(150)는 샘플 그룹들이 세 개 이상으로 분리된 경우 분리된 세 개 이상의 그룹들 중 선택된 두 개의 그룹의 차분을 연산하는 것이 바람직하다.

[0054] 이때, 차분 연산부(150)는 <수학식 6>을 이용하여 짝수 샘플에 대한 DFT와 홀수 샘플에 대한 DFT의 차분을 연산할 수 있다.

수학식 6

$$I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd} = \frac{2}{N} A_0 \cdot \frac{1 - E^N}{1 + E \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N}}}$$

[0055]

[0056] 차분 필터부(160)는 <수학식 6>에 의한 짝수 샘플에 대한 DFT와 홀수 샘플에 대한 DFT의 차분 연산에 의해 증폭되는 노이즈를 제거하기 위해 차분을 기 설정된 필터링 주파수로 저역 통과 필터링한다.

[0057] 즉, DFT는 고조파 노이즈에 강건한 특성을 가지고 있지만, DFT 차분에 의해 발생할 수 있는 노이즈에 대한 오차를 줄이기 위해 차분 필터부(160)를 사용하는 것이 바람직하다.

[0058] 직류 읍셋 연산부(170)는 차분 필터부(160)에 의해 저역 통과 필터링된 짝수 샘플에 대한 DFT와 홀수 샘플에 대한 DFT의 차분의 결과를 이용하여 직류 읍셋 성분인 직류 읍셋의 크기 및 지수항을 연산하고, 연산된 직류 읍셋의 지수항을 이용하여 직류 읍셋에 의한 오차(I_{DFT}^{dc})를 연산한다.

[0059] 여기서, 직류 읍셋 및 직류 읍셋에 의한 오차를 연산하는 과정에 대해 설명한다.

[0060] 직류 읍셋의 지수항을 연산하기 위해, <수학식 6>에 의해 연산된 차분을 실수부와 허수부로 나누어서 정리하면 <수학식 7>과 <수학식 8>로 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$K_{Re} = Re\{I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd}\} = \frac{2}{N} A_0 \frac{1 - E^N}{1 + E^2 + 2E \cos(2\pi/N)} (1 + E \cos(2\pi/N))$$

[0061]

수학식 8

$$K_{Im} = Im\{I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd}\} = \frac{2}{N} A_0 \frac{1 - E^N}{1 + E^2 + 2E \cos(2\pi/N)} E \sin(2\pi/N)$$

[0062]

[0063] 직류 읍셋 연산부(170)는 차분에 대한 실수부 및 허수부를 이용하여 직류 읍셋의 지수항을 연산할 수 있다. 즉, <수학식 7>을 <수학식 8>로 나누면 아래 <수학식 9>와 같이 직류 읍셋의 지수항을 연산할 수 있다.

수학식 9

$$E = \frac{K_{Im}}{K_{Re} \sin(2\pi/N) - K_{Im} \cos(2\pi/N)}$$

[0064]

[0065]

즉, 직류 옵션의 지수항은 차분 연산부(150)에 의해 연산된 짝수 샘플에 대한 DFT와 홀수 샘플에 대한 DFT의 차분($I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd}$) 및 주기당 샘플링 수(N)를 통해 연산된다.

[0066]

직류 옵션의 다른 성분인 직류 옵션의 크기(A_0)는 <수학식 9>에 의해 연산된 직류 옵션의 지수항을 이용하여 <수학식 6>에 의해 연산될 수 있다.

[0067]

상술한 바와 같이, 직류 옵션 연산부(170)는 <수학식 6> 내지 <수학식 9>를 이용하여 직류 옵션의 크기 및 지수항을 연산할 수 있다.

[0068]

또한, 직류 옵션 연산부(170)는 연산된 직류 옵션의 지수항을 이용하여 직류 옵션에 의한 오차 즉, 직류 옵션의 영향을 연산할 수 있는데, 직류 옵션에 의한 오차는 <수학식 10>에 의해 연산될 수 있다.

수학식 10

$$I_{DFT}^{dc} = (I_{DFT}^{even} - I_{DFT}^{odd}) \cdot \frac{1 + E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}}}{1 - E \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}}}$$

[0069]

[0070]

<수학식 10>에서 알 수 있듯이, 직류 옵션에 의한 오차는 차분 연산부(150)에 의해 연산된 차분, <수학식 9>에 의해 연산된 직류 옵션의 지수항 및 주기당 샘플링 수(N)를 통해 연산될 수 있다.

[0071]

페이저 추정부(180)는 직류 옵션 연산부(170)에 의해 연산된 직류 옵션에 의한 오차 및 입력 신호에 대한 DFT를 이용하여 입력 신호에 포함되는 기본파 성분의 페이저를 추정한다.

[0072]

즉, 페이저 추정부(180)는 <수학식 11>과 같이 입력 신호에 대한 DFT의 결과(I_{DFT})에서 직류 옵션의 영향(I_{DFT}^{dc})을 제거하면 정확한 전력 주파수 성분 즉, 기본파 성분의 페이저(I_{DFT}^{1th})를 추정할 수 있다.

수학식 11

$$I_{DFT}^{1th} = I_{DFT} - I_{DFT}^{dc}$$

[0073]

[0074]

도 2 및 도 3은 본 발명의 푸리에 변환 기반 페이저 추정 장치에 의한 테스트 결과에 대한 예시도들로서, 354[KV], 50[Km]의 가공 송전선로를 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 모델링하고, 최대 크기의 직류 옵션 성분이 발생하는 고장 투입 위상각 0도 고장을 고려하였으며, 직류 옵션 성분의 시정수 변화를 고려하기 위해 0[Ω], 5[Ω] 및 10[Ω]의 고장 저항(R_f)을 포함하는 10[Km]의 근거리 고장과 40[Km]의 원거리 고장을 모의하고, 모의 파형을 이용하여 본 발명의 테스트 결과를 보인 것이다.

[0075]

도 2 및 도 3에서 알 수 있듯이, PS 기반의 DFT 방법은 고장 저항이 없는 경우에는 직류 옵션의 영향을 정확하게 제거하고 보다 빠른 수렴 특성을 보이지만 고장 저항이 있는 경우 직류 옵션의 영향을 완벽하게 제거할 수 없음을 알 수 있다.

- [0076] 또한, 고장 저항이 포함된 고장의 경우 고장 전류에 두 개 이상의 직류 옵션 성분이 존재하게 되는데, 이 경우도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이 PS 기반의 DFT 방법으로는 직류 옵션의 영향을 정확하게 제거할 수 없다.
- [0077] 반면, 본 발명에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치를 이용하는 경우 고장 저항이 포함된 고장의 경우에도 직류 옵션의 영향을 완벽하게 제거하여 정확한 기본과 성분의 페이지를 추정할 수 있으며, Modified DFT보다 빠른 수렴 속도를 보임을 알 수 있다.
- [0078] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 장치는 입력 신호의 한 주기 데이터만을 이용하여 기본과 성분의 페이지를 추정할 수 있을 뿐만 아니라 입력 신호의 홀수 샘플 및 짝수 샘플에 대한 DFT의 차분을 기초로 기본과 성분의 페이지를 추정하기 때문에 하나의 지수 감쇄하는 직류 옵션 성분만이 아닌 두 개 이상의 지수 감쇄하는 직류 옵션 성분을 포함하는 입력 신호에 대해서도 기본과 성분의 페이지를 안정적으로 추정할 수 있다.
- [0079] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법에 대한 동작 흐름도이다.
- [0080] 도 4를 참조하면, 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은 입력 신호를 아날로그 디지털 변환기(ADC)를 이용하여 샘플링한다(S410).
- [0081] 여기서, 본 발명에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은 입력 신호의 한 주기 데이터만을 이용하여 기본과 성분의 페이지를 추정할 수 있기 때문에 한 주기 데이터만을 샘플링하여 사용할 수 있다.
- [0082] 물론, 입력 신호를 샘플링하는 샘플링 주파수는 입력 신호의 한 주기에서 샘플링하고자 하는 샘플들의 수에 따라 달라질 수 있다.
- [0083] 또한, 본 발명에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은 도 4에는 도시하지 않았지만, 아날로그 필터를 이용하여 입력 신호를 저역 또는 대역 통과 필터링하는 과정을 수행한 후 샘플링할 수도 있다.
- [0084] 홀수 샘플과 짝수 샘플의 분리에 의해 발생할 수 있는 앨리어싱(aliasing) 현상에 의한 오차를 방지하기 위해 샘플링된 샘플들을 저역 또는 대역 통과 필터링한다(S420).
- [0085] 이때, 샘플들은 $N/4$ 조과 이상의 성분이 제거될 수 있는 차단 주파수로 저역 또는 대역 통과 필터링되는 것이 바람직하다.
- [0086] 샘플들이 저역 또는 대역 통과 필터링되면, 필터링된 샘플들을 홀수 샘플과 짝수 샘플로 분리한 후 홀수 샘플에 대한 DFT 및 짝수 샘플에 대한 DFT를 각각 수행한다(S430, S440).
- [0087] 이때, 짝수 샘플에 대한 DFT의 결과 및 홀수 샘플에 대한 DFT의 결과는 상술한 <수학식 4> 및 <수학식 5>와 같이 표현될 수 있다.
- [0088] 각각 수행된 홀수 샘플에 대한 DFT 및 짝수 샘플에 대한 DFT의 결과를 차분한다. 일 예로, 상술한 <수학식 6>과 같이 짝수 샘플에 대한 DFT의 결과에서 홀수 샘플에 대한 DFT의 결과를 차분 연산한다(S450).
- [0089] 짝수 샘플에 대한 DFT에서 홀수 샘플에 대한 DFT를 차분 연산하면, 차분 연산에 의해 증폭된 노이즈를 제거하기 위해 연산된 차분을 기 설정된 필터링 주파수 즉, 차단 주파수로 저역 통과 필터링한다(S460).
- [0090] 저역 통과 필터링된 차분 즉, 짝수 샘플에 대한 DFT와 홀수 샘플에 대한 DFT의 차분을 이용하여 직류 옵션 및 직류 옵션에 의한 오차를 연산한다(S470).
- [0091] 여기서, 직류 옵션의 크기 및 지수항은 상술한 <수학식 6> 및 <수학식 9>를 이용하여 연산할 수 있고, 직류 옵션에 의한 오차는 상술한 <수학식 10>을 이용하여 연산할 수 있다.
- [0092] 단계 S470에 의해 직류 옵션 및 직류 옵션에 의한 오차가 연산되면, 연산된 직류 옵션에 의한 오차 및 입력 신호의 DFT를 이용하여 입력 신호에 포함된 기본과 성분의 페이지를 추정한다(S480).
- [0093] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법은 입력 신호의 한 주기 데이터의 샘플들을 이용하여 기본과 성분의 페이지를 안정적으로 추정할 수 있고, 두 개 이상의 지수 감쇄하는 직류 옵션을 포함하는 경우에도 페이지를 정확하게 추정할 수 있다.
- [0094] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지 추정 방법을 입력 신호에 하나의 직류 옵션을 포함하는 경우와 두 개의 직류 옵션을 포함하는 경우에 대해 PS 기반의 DTF 방법 및 Modified DFT 방법과 비교하여 설명한다.

[0095] 1) 입력 신호에 포함되는 직류 오프셋이 하나인 경우

[0096] 여기서, 입력 신호가 <수학식 12>와 같이 표현된다 가정하고 설명한다.

수학식 12

[0097]
$$i_1(n) = 100 \cdot e^{-n\Delta t/\tau_1} - 100\cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) \quad n \geq 0$$

[0098] <수학식 12>의 입력 신호에 대해 본 발명에 따른 페이지 추정 성능을 확인하기 위해 시정수인 τ_1 을 0.5 및 5.0 사이클(cycle)로 설정하였으며, 도 5는 τ_1 에 따른 입력 신호의 파형을 보인 것이다.

[0099] 도 6은 도 5에 도시한 입력 신호에 대해 본 발명에 따른 페이지 추정 방법, PS 기반 DFT 방법 및 Modified DFT 방법에 의한 페이지 추정 결과를 보인 것으로, 직류 오프셋 성분이 하나인 경우에는 세 방법 모두 기본과 성분의 페이지를 정확하게 추정하는 것을 알 수 있다.

[0100] 2) 입력 신호에 포함되는 직류 오프셋이 두 개인 경우

[0101] 여기서, 입력 신호가 <수학식 13>과 같이 표현된다 가정하고 설명한다.

수학식 13

[0102]
$$i_2(n) = 110 \cdot e^{-n\Delta t/\tau_1} - 100\cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) - 10 \cdot e^{-n\Delta t/\tau_2} \quad n \geq 0$$

[0103] 도 7은 <수학식 13>의 입력 신호에 대해 시정수 τ_2 가 20 사이클로 고정된 상태에서 τ_1 이 0.5 및 5.0 사이클인 경우에 대한 입력 신호의 파형을 보인 것이다.

[0104] 도 8은 도 7에 도시한 입력 신호에 대해 본 발명에 따른 페이지 추정 방법, PS 기반 DFT 방법 및 Modified DFT 방법에 의한 페이지 추정 결과를 보인 것으로, 도시된 바와 같이, τ_1 이 0.5 사이클인 경우에, PS 기반의 DFT 방법은 입력 신호에 포함된 두 개의 직류 오프셋의 영향을 완벽하게 제거할 수 없다는 것을 알 수 있는데, PS 기반 DFT 방법의 오차는 시정수가 작은 직류 오프셋 성분이 감쇄되어 없어지는 시점에서 발생한다(도 8a).

[0105] 이는 PS 기반 DFT 방법이 입력 신호의 한 주기 테이터를 홀수 샘플과 짝수 샘플로 나누어 두 개의 적분을 수행하고 적분 결과의 비를 이용하여 직류 오프셋 성분을 추정하기 때문에 두 개의 직류 오프셋 성분이 함께 존재하는 구간과 하나의 직류 오프셋 성분만 존재하는 구간이 하나의 적분 구간 내에 존재하는 경우, 적분 결과의 비로써 직류 오프셋 성분의 시정수 및 크기를 정확하게 추정할 수 없게 된다. 특히, 두 개의 직류 오프셋의 부호가 다르고 크기가 큰 직류 오프셋 성분의 시정수가 작은 경우 위와 같은 현상에 의한 오차가 크게 발생한다.

[0106] 반면 도 8에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 페이지 추정 방법 및 Modified DFT 방법의 경우에는 직류 오프셋의 영향을 완벽하게 제거할 수 있는데, 이는 푸리에 변환의 결과를 이용하여 직류 오프셋 성분을 추정하는 경우 두 개의 직류 오프셋이 존재하더라도 하나의 직류 오프셋 성분으로 근사화된 값을 추정할 수 있기 때문이다.

[0107] 입력 신호 1) 및 2)에 대한 페이지 추정 결과에서 알 수 있듯이, 본 발명에 따른 페이지 추정 방법은 입력 신호에 포함되는 직류 오프셋이 하나 또는 두 개인 경우에도 기본과 성분의 페이지를 정확하게 추정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0108] 또한, Modified DFT 방법이 푸리에 변환을 위해 입력 신호의 한 주기 데이터 이 외에 두 개의 샘플을 추가적으로 사용하는 반면, 본 발명은 입력 신호의 한 주기 데이터만을 사용하기 때문에 Modified DFT 방법에 비해 보다 빠르게 정확한 기본과 성분의 페이지저를 추정할 수 있다.

[0109] 이와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지저 추정 방법은 계통 상태 및 고장 조건에 영향을 받지 않고 직류 옵셋의 영향을 제거하여 정확한 기본과 성분의 페이지저를 추정할 수 있으므로, 전력 신호의 빠르고 정확한 연산을 필요로 하는 모든 분야에 기여할 수 있다.

[0110] 본 발명에 의한, 지수 감쇄하는 직류 옵셋 영향을 제거한 푸리에 변환 기반 페이지저 추정 방법 및 그 장치는 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 양한 형태로 변형, 응용 가능하며 상기 실시 예에 한정되지 않는다. 또한, 상기 실시 예와 도면은 발명의 내용을 상세히 설명하기 위한 목적일 뿐, 발명의 기술적 사상의 범위를 한정하고자 하는 목적은 아니며, 이상에서 설명한 본 발명은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로 상기 실시 예 및 첨부된 도면에 한정되는 것은 아님은 물론이며, 후술하는 청구범위뿐만이 아니라 청구범위와 균등 범위를 포함하여 판단되어야 한다.

도면의 간단한 설명

[0111] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지저 추정 장치에 대한 구성도이다.

[0112] 도 2는 본 발명의 푸리에 변환 기반 페이지저 추정 장치에 의한 테스트 결과에 대한 일 예시도이다.

[0113] 도 3은 본 발명의 푸리에 변환 기반 페이지저 추정 장치에 의한 테스트 결과에 대한 다른 일 예시도이다.

[0114] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 푸리에 변환 기반 페이지저 추정 방법에 대한 동작 흐름도이다.

[0115] 도 5는 하나의 직류 옵셋을 포함하는 입력 신호의 시정수 τ_1 에 따른 입력 신호의 파형도이다.

[0116] 도 6은 도 5에 도시한 입력 신호에 대해 본 발명에 따른 페이지저 추정 방법, PS 기반 DFT 방법 및 Modified DFT 방법에 의한 페이지저 추정 결과를 보인 것이다.

[0117] 도 7은 두 개의 직류 옵셋을 포함하는 입력 신호의 시정수 τ_2 가 20 사이클로 고정된 상태에서 시정수 τ_1 에 따른 입력 신호의 파형도이다.

[0118] 도 8은 도 7에 도시한 입력 신호에 대해 본 발명에 따른 페이지저 추정 방법, PS 기반 DFT 방법 및 Modified DFT 방법에 의한 페이지저 추정 결과를 보인 것이다.

[0119] < 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 >

[0120] 110: 샘플링부

[0121] 120: 샘플링 필터부

[0122] 130: 분리부

[0123] 140: DFT부

[0124] 150: 차분 연산부

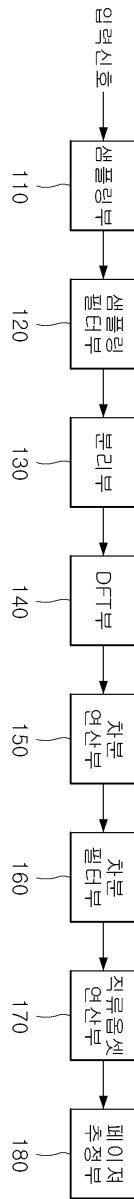
[0125] 160: 차분 필터부

[0126] 170: 직류 옵셋 연산부

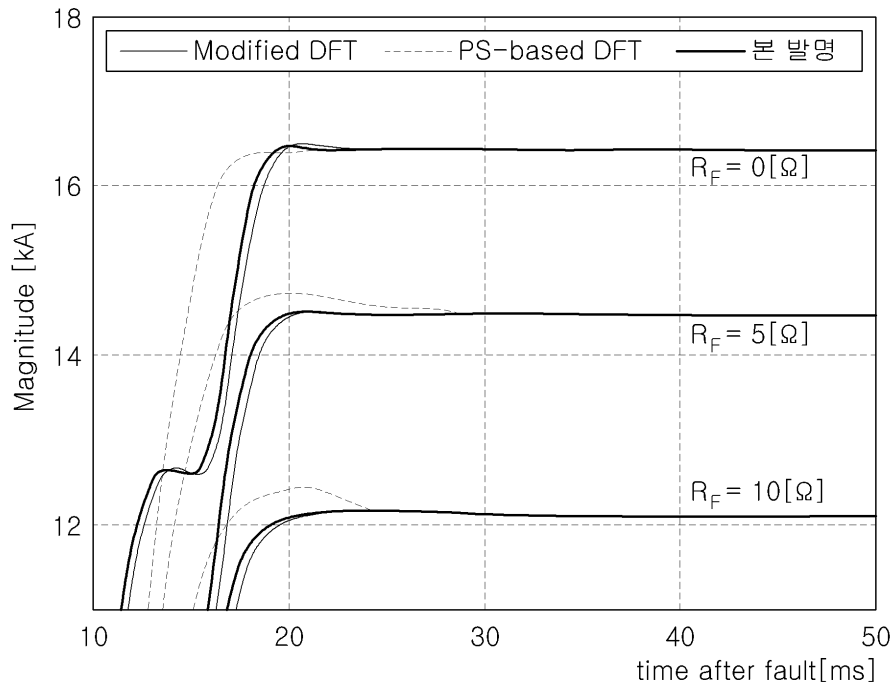
[0127] 180: 페이지저 추정부

도면

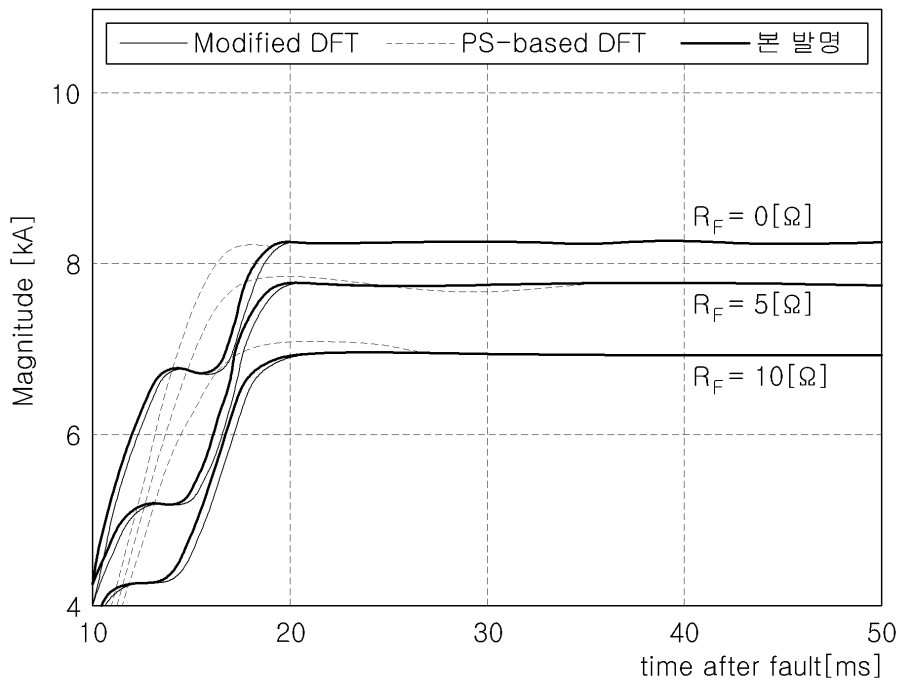
도면1



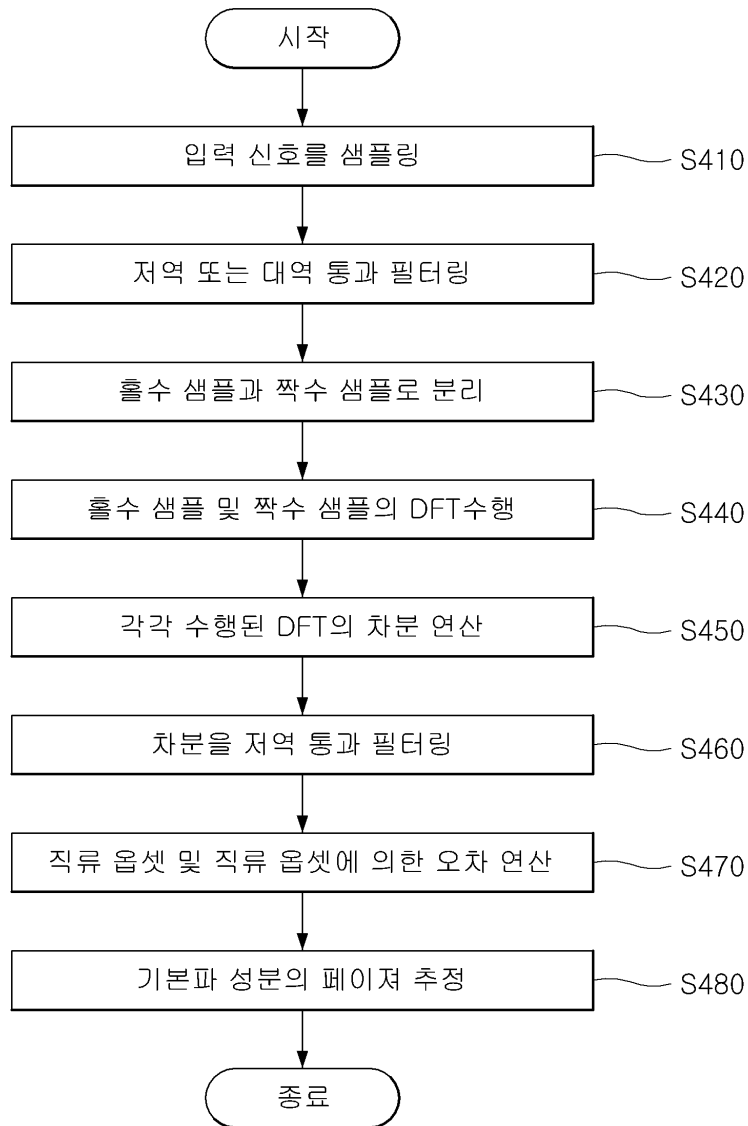
도면2



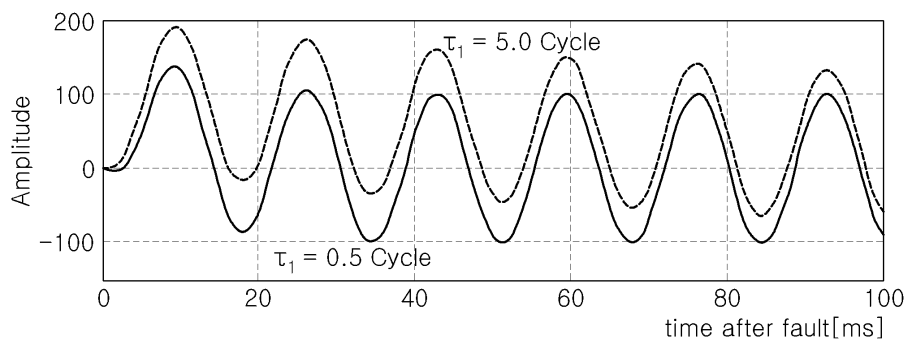
도면3



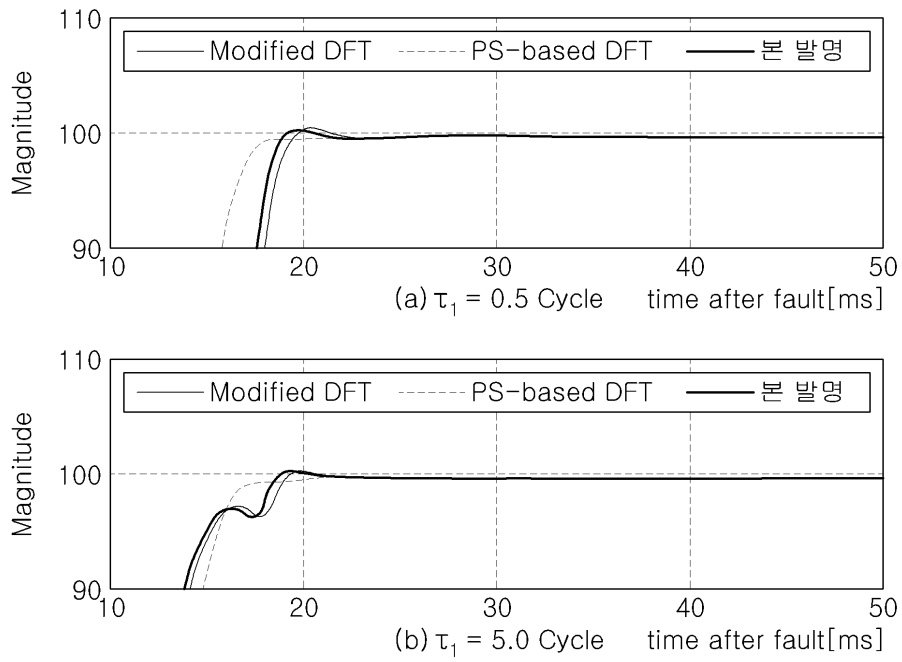
도면4



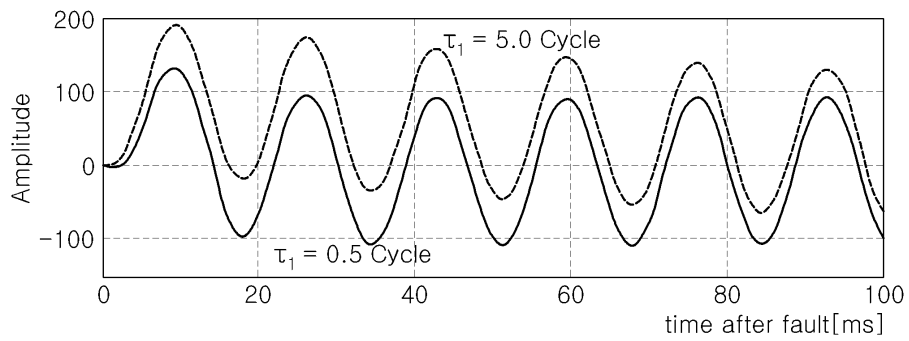
도면5



도면6



도면7



도면8

