

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. (45) 공고일자 2006년05월 15일
H01F 27/42 (2006.01) (11) 등록번호 10-0580428
H01F 38/28 (2006.01) (24) 등록일자 2006년05월09일

(21) 출원번호 10-2004-0080844 (65) 공개번호 10-2006-0032272
(22) 출원일자 2004년10월 11일 (43) 공개일자 2006년04월 17일

(73) 특허권자 명지대학교 산학협력단
경기 용인시 남동 산 38-2 명지대학교

(72) 발명자 강상희
서울특별시 서초구 잠원동 60-7 녹원한신아파트 102-603

이동규
서울 광진구 군자동 83-4 (22/7)

현승호
경기 고양시 덕양구 화정동 달빛마을 현대아파트 403-1102

강용철
전라북도 전주시 덕진구 우아동 2가 887번지 아중롯데아파트 101동 1006호

(74) 대리인 특허법인 율촌
(56) 선행기술조사문헌 JP10144541 A, KR1019930014636 A, KR1020050059002 A, KR1020050063872 A
* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 강철수

(54) 발명의 명칭 **왜곡된 변류기의 2차 전류 보상 방법**

요약

왜곡된 변류기의 2차 전류 보상 방법이 개시된다. 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상 방법은, 변류기의 포화구간을 검출하는 단계, 변류기의 포화에 의한 전력계통의 고장시 발생하는 전류를 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과 기본파 및 고조파 성분의 조합으로 가정하여 AR 모델로 표현하고 AR 모델의 계수를 추정하는 단계, 및 추정된 AR 모델의 계수에 기초하여 변류기의 포화시의 정상적인 2차 전류를 추정하는 단계를 포함한다.

대표도

도3

색인어

변류기, 2차 전류, 포화, 잔류 자속, AR 모델, AR 계수

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 변류기의 일반적인 구성을 나타낸 도면,
도 2는 도 1의 일반적인 변류기의 등가회로를 개략적으로 도시한 도면,
도 3은 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법을 나타낸 흐름도,

[0001]

- 도 4는 필터뱅크에 의한 웨이브렛 변환의 실시 예를 나타낸 도면,
- 도 5는 변류기의 포화 시의 2차 전류의 변화와 2차 전류의 1계 미분을 개략적으로 나타낸 도면,
- 도 6은 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법을 검증하기 위해 사용된 모델 계통의 실시 예를 개략적으로 도시한 도면,
- 도 7은 5차 AR 모델로 모델링한 경우에 방법 A를 사용하여 왜곡된 2차 전류를 보정한 결과를 나타낸 도면,
- 도 8은 방법 A에 의한 경우에 필요한 만큼의 샘플 데이터가 확보되지 않은 경우의 과도 에러를 나타낸 도면,
- 도 9는 5차 AR 모델로 모델링한 경우에 방법 A를 사용하여 왜곡된 2차 전류를 보정한 결과의 일 예를 나타낸 도면, 그리고
- 도 10은 5차 AR 모델로 모델링한 경우에 방법 A를 사용하여 왜곡된 2차 전류를 보정한 결과의 다른 예를 나타낸 도면이다.

* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 *

- 12 : 선로
- 14 : 철심부
- 16 : 2차 코일

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술

- [0002] 본 발명은 변류기의 왜곡된 2차 전류를 보상하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 철심 변류기의 자성적 특성에 의한 포화에 의해 2차 전류가 왜곡되는 경우의 왜곡된 2차 전류를 보상하는 방법에 관한 것이다.
- [0003] 변류기란 계통에 흐르는 전류의 크기를 축소하여 보호 계전기에 입력하기 위한 장치이며, 1차 권선과 2차 권선의 쇄교자속을 최대로 하기 위하여 대부분의 경우 코어가 철심인 철심 변류기를 사용하고 있다.
- [0004] 도 1은 변류기의 일반적인 구성을 나타낸 도면이다. 도면을 참조하면, 변류기는 선로(12)에 흐르는 1차 전류에 의하여 발생하는 자속(magnetic flux)을 집중시키기 위한 철심부(14)와 철심부(14)에 유기된 자속에 의하여 2차 전류를 발생시키기 위한 철심부(14)를 감싸는 2차 코일(16)을 구비한다.
- [0005] 도 2는 도 1의 일반적인 변류기의 등가회로를 개략적으로 도시한 도면이다. 여기서, L은 변류기의 자화 인덕턴스이며, i_m 은 자화 전류, i_2' 는 변류비에 맞는 2차 전류, i_2 는 실제 측정되는 2차 전류를 말한다. 이때, 자화 인덕턴스 L은 상수 값이 아니고 전류에 따라 다른 값을 갖게 되며, 자속이 커져서 특정 한계를 넘게 되면 자화 인덕턴스는 현저하게 변화하게 되는데, 이는 변류기의 내부 상태의 변화에 기인하는 것으로서, 이와 같은 경우에 변류기는 포화되었다고 말한다.
- [0006] 변류기가 정상적으로 작동하는 경우에는 자화전류 i_m 의 크기가 작기 때문에, 측정된 변류기의 2차 전류 값은 1차 전류와 비례하게 되어 문제가 없다. 그러나 변류기가 포화되어 변류기의 자화 인덕턴스의 값이 현저하게 변하게 되면 변류기의 2차 전류 값도 현저하게 변화하게 된다. 즉, 변류기가 포화되는 경우, L 값이 현저하게 감소하여 자화 전류인 i_m 이 증가되므로, i_2' 와 i_2 가 달라지는 결과가 된다. 따라서 변류기의 포화 이전과 이후에는, 최종적으로 측정되는 전류인 2차 전류 i_2 와 1차 전류 사이의 관계가 달라지며, 변류기의 포화는 계전기의 동작시간을 지연시키거나 잘못된 동작을 유발시키게 된다.
- [0007] 이와 같이, 철심 변류기는 그 자성적 특성 때문에 포화현상을 피할 수 없으며, 이 경우 변류기를 통과한 2차 전류는 왜곡되어 계통의 1차측 정보를 얻을 수 없게 된다. 따라서 변류기 포화는 각종 계전기의 오동작/부동작을 유발할 수 있고, 계전기의 감도를 저하시키며, 또한 계전기의 동작 시간을 증가시키는 요인이 되므로 이에 대한 별도의 대책이 마련되어야만 한다.
- [0008] 변류기의 포화에 의한 계전기의 영향을 최소화하기 위하여 일반적으로 사용하고 있는 방법은 최대 고장전류의 2배 이상의 전압 정격을 가지는 변류기를 채택하는 것이다. 그러나 이와 같은 방법을 사용하여도 고장 전류에 포함된 직류 오프셋 성분과 철심 내부 잔류 자속의 영향 때문에 여전히 포화의 가능성이 존재하며, 예상되는 고장 전류가 큰 경우 철심의 단면적이 커지므로 변류기의 크기가 커지고, 따라서 이용비용이 증가하는 단점이 있다.
- [0009] 변류기 포화에 대한 대책으로 포화에 의해 왜곡된 2차 전류를 보상하는 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.
- [0010] 제시된 방법 중의 하나는 잔류자속을 추정하고, 변류기의 자화곡선을 이용하여 자화 전류를 계산함으로써 정확한 2차 전류를 추정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 초기 잔류 자속을 0으로 가정하였으므로 고장 발생시 잔류 자속이 존재하면 에러가 커지는 단점이 있다.
- [0011] 제시된 방법 중의 다른 하나는 초기 철심의 자속을 추정하고, 히스테리시스 곡선을 이용하여 여자 전류를 추정함으로써 변류기의 정확도를 높이는 방법이다. 그러나 이 방법은 변류기 1차측 전류가 직류 오프셋 성분을 포함하지 않은 정현파형일 때에만 유효하며, 정확한 변류기 자화곡선 데이터를 필요로 한다는 단점이

있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

[0012] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 개선하기 위하여 창안된 것으로서, 전류 정보만을 사용하여 실시간으로 변류기의 포화를 검출하고, 변류기의 잔류 자속이 존재하는 경우에도 왜곡된 2차 전류를 보상할 수 있는 변류기의 2차 전류 보상방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

[0013] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법은, (a) 변류기의 포화구간을 검출하는 단계; (b) 전력계통의 고장시 발생하는 전류를 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과, 기본파 및 고조파 성분의 조합으로 가정하여 AR(Autoregressive) 모델로 표현하고, 상기 AR 모델의 계수를 추정하는 단계; 및 (c) 추정된 상기 AR 모델의 계수에 기초하여, 복수개의 샘플링된 2차 전류 데이터를 이용한 상기 변류기의 포화시의 2차 전류를 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 여기서, 상기 (a) 단계는 웨이브렛(wavelet) 변환을 이용하여 상기 변류기의 포화구간을 검출하는 것으로서, 상기 변류기의 2차 전류를 필터뱅크로 통과시킨 후 하이패스 필터 출력을 이용하여 상기 변류기의 포화구간을 검출할 수 있다.

[0015] 또는, 상기 (a) 단계는 상기 변류기의 2차 전류의 2차 이상의 차분을 이용하여 상기 변류기의 포화구간을 검출할 수도 있다.

[0016] 이때, 상기 AR 모델은 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과 사인성분의 기본파 및 고조파 성분을 고려하여 다음과 같은 (2m + 1)차의 형태로 표현될 수 있다.

[0017] $i[k + 1] = \Phi^T(k)\theta$

[0018] 이때, $\Phi(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-2m]]^T$

[0019] $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}]^T$ 이며,

[0020] $i[k]$ 는 현재 시점에 샘플링된 전류, $i[k-1]$ 은 한 샘플링주기 직전의 샘플링된 전류, $i[k-2m]$ 은 2m 샘플링 주기 직전의 샘플링된 전류, 그리고 θ 는 상기 AR 계수를 나타낸다.

[0021] 바람직하게는, 상기 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법은, 상기 복수개의 샘플링된 2차 전류 데이터는 상기 변류기의 포화종료 이후에 샘플링된 값들을 포함한다.

[0022] 이때, 상기 AR 모델로부터 다음과 같은 행렬식이 산출된다.

[0023] $Y(k) = \Phi(k)^{\wedge}\theta$

[0024] 여기서, $Y(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-L+1]]^T$

[0025] $\Phi(k) = [\Phi^T(k-1) \ \Phi^T(k-2) \ \dots \ \Phi^T(k-L)]^T$

[0026] $^{\wedge}\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}]^T$.

[0027] 상기 AR 계수는 상기 행렬식에 기초하여 다음의 식에 의해 산출되는 것이 바람직하다.

[0028] $^{\wedge}\theta(k) = [\Phi^T(k)\Phi(k)]^{-1}\Phi^T(k)Y(k)$.

[0029] 한편, 상기 AR 모델 중 n조파 사인성분은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

[0030] $x_n[k+1] = (2-(nwT)^2)x_n[k] - x_n[k-1]$

[0031] 여기서, nw는 주파수, T는 샘플링 간격, $x_n[k]$ 는 현재 시점에 샘플링된 n조파 사인성분의 전류, $x_n[k-1]$ 는 한 샘플링주기 직전에 샘플링된 n조파 사인성분의 전류를 나타낸다.

[0032] 또한, 상기 AR 모델 중 지수 감쇄하는 DC 오프셋 성분은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

[0033] $x_0[k+1] = (1-T/\tau)x_0[k]$

[0034] 여기서, τ 는 시정수를 나타낸다.

[0035] 이때, 상기 AR 계수는 주파수(nw), 샘플링 간격(T), 및 계전기 설치점 배후의 등가전원 시정수를 이용하여 미리 계산되는 것이 바람직하다.

[0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법을 보다 상세하게 설명한다.

[0037] 도 3은 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법을 나타낸 흐름도이다.

[0038] 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법은, 변류기의 포화에 의해 2차 전류가 왜곡된 경우, 먼저 변류기의 포화구간을 검출한다(S301).

[0039] 변류기의 포화구간을 검출하는 방법은, 웨이브렛(wavelet) 변환을 이용하는 방법, 하이패스 필터의 출력을

이용하는 방법, 변류기의 2차 전류의 2차 이상의 차분을 이용하는 방법 등이 있다.

[0040] 웨이브렛은 해석학의 일부분으로 신호처리, 영상처리 등과도 밀접한 관련이 있다. 먼저, 신호를 분석하는 가장 일반적인 기법인 푸리에변환(Fourier Transform)은 시간의 함수로 나타난 값을 주파수의 함수로 바꾸어주는 기술이다. 즉, 시간에 따라 변화하는 신호를 주파수가 다른 여러 개의 사인파가 중첩된 것으로 보고 각각의 사인파의 크기를 구하는 방법이다. 이 방법은 주파수가 다른 여러 개의 사인파가 섞이는 전기신호를 분석하는데 특히 유용하며, 신호 중에서 원하지 않는 주파수의 신호만 제거하여 노이즈를 줄이는데 사용되기도 한다.

[0041] 웨이브렛은 좀 더 발전된 형태의 푸리에변환이라고 할 수 있다. 무한히 반복되는 사인파를 기본파형으로 이용하여 주파수만을 변화시키며 상관관계를 밝히는 푸리에변환에 비해 웨이브렛은 한 파장의 파형(사인파일 수도 있고 아닐 수도 있다)을 기본파형으로 하여 그 크기와 위치를 변화시켜가며 상관관계를 밝히는 기술이다. 여기서, 크기를 변화시키는 것은 푸리에급수의 주파수 변화와 같은 개념이라고 볼 수 있으며 위치를 변화시키는 것은 웨이브렛만의 독특한 방법이다.

[0042] 푸리에변환의 경우 무한히 반복되는 사인파가 기본파형이므로 주파수의 함수로 바꾸었을 때 시간정보가 사라진다는 단점이 있다. 즉, 어떤 주파수의 성분이 많은지는 알 수 있지만, 그 성분이 시간적으로 어떤 위치에서 많이 나타나는지는 알 수 없다. 하지만, 웨이브렛은 한 파장의 파형을 크기와 함께 위치도 변화시키므로 주파수 정보와 함께 시간의 정보도 알 수 있다는 장점이 있다. 하나의 신호를 푸리에급수로 분석하면 주파수 축과 크기(amplitude) 축의 3차원 그래프로 나타내어진다.

[0043] 그러나, 상기와 같은 이론적인 웨이브렛 변환은 실시간적 구현이 어려우므로, 필터뱅크를 이용하여 변류기의 포화구간을 실시간적으로 검출할 수도 있다. 즉, 웨이브렛 변환의 실시간적 구현을 위하여 변류기의 2차 전류를 필터뱅크로 통과시키고, 필터뱅크의 하이패스 필터 출력을 이용하여 변류기의 포화구간을 검출할 수 있다.

[0044] 도 4는 필터뱅크에 의한 웨이브렛 변환의 실시 예를 나타낸 것으로, 3 레벨 트리구조의 직각대칭필터(QMF)(Quadrature Mirror Filter) 뱅크에 의해 이산 웨이브렛 변환(DWT)(Discrete Wavelet Transform)을 수행하는 예를 나타낸 것이다.

[0045] 도면을 참조하면, 입력된 신호는 레벨 1에서 고주파 성분신호 H(n)와 저주파 성분신호 L(n)로 분해된다. 필터 처리된 각각의 신호 즉, 디지털 필터에 의해 필터 처리된 이산 시간 신호는 1/2로 각각 다운 샘플링된다. 다시 말하여, 필터 처리된 이산 시간 신호에서 각각의 2개의 샘플 값 중 하나는 제거된다. 이때, 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법은 고차 성분을 추출하여 사용하는 것이 정확한 포화 판단에 유리하므로, 각각의 샘플 값 중 고주파 성분 신호 H(n)을 추출하여 사용하는 것이 바람직하다.

[0046] 이와 같은 동작은 레벨 2 및 레벨 3에서도 동일하게 반복되며, 이로써 원 신호는 결국 여러 개의 서브밴드(sub-band) 성분으로 분해된다. 웨이브렛 변환이 고전적인 단구간 푸리에 변환과 구별되는 근본적인 차이점은, 구간 푸리에 변환의 경우 모든 주파수 대역에 대하여 동일한 크기의 필터 윈도우를 사용하는 반면, 웨이브렛 변환은 고주파 대역에서는 폭이 좁은 윈도우를, 저주파 대역에서는 폭이 넓은 윈도우를 사용한다는 것이다. 따라서 웨이브렛 해석은 상대 대역폭 불변 해석(constant relative bandwidth analysis)이라고도 일컬어지며, 주파수 대역의 변화 폭은 항상 주파수 값에 비례한다.

[0047] 변류기의 포화구간을 검출하는 방법으로 변류기의 2차 전류의 2차 이상의 차분을 이용하는 방법이 사용될 수도 있다.

[0048] 도 5는 변류기의 포화 시의 2차 전류의 변화와 2차 전류의 1계 미분을 개략적으로 나타낸 도면이다. 도면을 참조하면, 변류기의 포화 시에는 철심의 내부 상태의 변화에 따라 2차 전류의 파형이 변화하며, 2차 전류의 파형을 1계 미분하면 도면에서와 같은 불연속점이 나타나게 된다. 2차 전류를 2계 미분하면 위의 불연속 점에서는 변화율이 몹시 크게 되며, 대부분의 경우 2계 이상의 미분을 사용할수록 다른 부분과의 구별이 용이하여 지기도 한다. 본 발명에서는 이와 같은 원리를 이용하여 포화 개시 및 종료를 검출하며, 포화 개시 및 종료를 검출이 컴퓨터를 통하여 수행되도록 하면 신속한 데이터의 철가 가능하여지므로, 2차 전류의 변화가 사고에 의한 것인지 아니면 포화에 의한 것인지 정확하게 판단되도록 할 수 있다. 컴퓨터를 이용하여 이와 같은 계산을 수행하도록 하기 위하여, 상기의 1계 또는 그 이상의 미분을 이산(digital)화된 데이터로 수행하게 되며, 일반적으로 알려진 많은 수치 미분 방식 또는 그의 단순한 산술적 변형이 적용될 수 있음은 당업자에게 자명하다.

[0049] 변류기의 포화 개시 및 종료를 판단하는 방법으로는 국제출원번호 PCT/KR2001/00809(국제출원일자 : 2001. 05. 17)로 출원된 변류기 포화 판단 방법을 이용할 수 있다. 이 방법에 따르면, 변류기의 2차 전류를 이산화한 식을 $i_2[n]$ 이라 할 경우, $del1[n]$ 은 2차 전류의 차분으로서 수학적 1과 같다.

[0050] **수학적 식 1**

$$del1[n] = i_2[n] - i_2[n-1]$$

[0051] $del1[n]$ 으로부터 2차 전류의 증감을 알 수 있으며, 2차 차분 $del2[n]$ 과 3차 차분 $del3[n]$ 은 다음과 같이 산출할 수 있다.

[0052] 수학식 2

$$del2[n] = del1[n] - del1[n-1]$$

[0053] $del3[n] = del2[n] - del2[n-1]$

[0054] $del2[n]$ 에서는 $del1[n]$ 의 증감을 알 수 있으며, 2차 전류의 모양이 아래로 볼록인지, 위로 볼록인지를 알 수 있다. 또한, $del3[n]$ 에서는 $del2[n]$ 의 증가량을 알 수 있다.

[0055] 이때, $del2[n]<0$ 이면, $del1[n]$ 가 감소상태임을 의미한다. 즉, $del2[n]<0$ 이면, i_2 의 증가량이 감소함을 의미한다. $del2[n]<0$ 이면서 $del2[n]$ 의 크기가 크면, 그 순간에 $del1[n]$ 이 심한 감소상태임을 의미하며, i_2 의 감소량이 급격히 증가함을 의미한다. 즉, 2차 전류가 급격히 감소함을 의미하게 되어 포화 개시 또는 포화 종료의 순간이라고 판단할 수 있다.

[0056] 포화 정도가 다르기 때문에 포화 순간의 자속을 단순히 포화점의 자속으로 추정하는 것은 문제가 있다. 따라서, 포화 순간을 보다 정확하게 판단하기 위하여, $del3[n]$ 을 이용하여 $del3[n]$ 이 임계값 이하보다 작으면 그 순간을 포화 개시 또는 포화 종료의 시점으로 판단하는 것이 바람직하다.

[0057] 예를 들어, 임계값을 -0.0015 로 설정한 경우, $del3[n]$ 값이 첫 번째로 임계값 -0.0015 이하를 나타낸 경우 즉, $del3[n] < -0.0015$ 인 때가 포화 개시의 순간이고, 두 번째로 $del3[n]$ 값이 임계값 -0.0015 이하를 나타낸 경우가 포화 종료의 순간이라고 판단할 수 있다. 이와 같은 방법에 의해 변류기의 포화 개시 시점과 포화 종료의 시점을 판단하여 변류기의 포화 구간을 검출 가능하게 된다.

[0058] 한편, 전력 계통의 고장시 발생하는 전류는 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과, 기본파 및 고조파 성분의 조합으로 가정할 수 있으므로, 이를 자기회기(AR : Auto Regressive) 모델로 표현할 수 있다(S303). 즉, 변류기의 포화시 왜곡된 2차 전류는 AR 모델을 이용하여 추정될 수 있다.

[0059] AR 모델이란, 시계열자료가 과거 값들로서 설명된다는 모형이다. 다시 말하면, 다음의 식과 같이,

[0060] 수학식 3

$$y(k) = a_1y(k-1) + a_2y(k-2) + \dots + a_p y(k-p)$$

[0061] 라고 할 때, 현재(k) 시점의 값($y(k)$)은 바로 직전($k-1$)의 값으로부터 a_1 만큼, ($k-2$)값으로부터 a_2 만큼 등의 영향을 받는다고 할 수 있다. 과거 ($k-p$)까지의 값들이 $y(k)$ 에 영향을 주는 경우 p 차 AR 모델이라고 부르며, AR(p)라고 표현한다. 이를 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

[0062] 수학식 4

$$y(k) = \sum_{j=1}^p a_j y(k-j)$$

[0063] 여기서, $y(k)$ 는 모델링하고자 하는 신호이며, a_j 은 j 차 항의 AR 계수, p 는 AR 모델의 차수이다.

[0064] 전력 계통의 고장시 발생하는 전류 신호는 지수 감쇄하는 DC 오프셋 성분과 사인파 성분의 조합으로 가정하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

[0065] 수학식 5

$$\begin{aligned} i(t) &= x_0(t) + \sum_{n=1}^m x_n(t) \\ &= C_0 \exp^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^m C_n \sin(n\omega t + \phi_n) \end{aligned}$$

[0066] 여기서, τ 와 C_0 는 dc 성분의 시정수 및 크기, C_n 과 ϕ_n 은 n 조파 사인성분의 크기 및 위상각, m 은 고조파 성분의 최고차수이며 ω 는 시스템의 기본 주파수이다.

[0067] 시간의 증분 Δt 를 아주 작은 시간 간격 $\Delta t=T$ 로 차분 근사화하면 다음과 같다.

[0068] 수학식 6

$$x' = \frac{x(t+T) - x(t)}{T}$$

[0069] 수학식 6에 기초하여 다음과 같은 식을 유추할 수 있다.

[0070] 수학식 7

$$\begin{aligned} x_n''(t) &= \frac{x'(t+T) - x'(t)}{T} = -(nw)^2 x_n(t) \\ x_n'(t+T) - x_n'(t) &= -T(nw)^2 x_n(t) \\ x_n(t+T) - 2x_n(t) + x_n(t-T) &= -(nwT)^2 x_n(t) \\ x_n(t+T) &= (2 - (nwT)^2)x_n(t) - x_n(t-T) \end{aligned}$$

[0071] 여기서, 시간 $t=kT$ 로 표현할 수 있으므로, 수학식 7을 정리하면 n 조파 사인 성분은 다음과 같은 AR(2) 모델로 표현할 수 있다.

[0072] 수학식 8

$$x_n[k+1] = (2 - (nwT)^2)x_n[k] - x_n[k-1]$$

[0073] 여기서, T 는 샘플링 간격이다. 수학식 8을 행렬식으로 표현하면,

[0074] 수학식 9

$$x_n^{k+1} = a_n x_n^k \quad (n \neq 0)$$

$$\text{여기서, } x_n^{k+1} = \begin{pmatrix} x_n[k+1] \\ x_n[k] \end{pmatrix}, x_n^k = \begin{pmatrix} x_n[k] \\ x_n[k-1] \end{pmatrix},$$

$$a_n = \begin{pmatrix} 2 - (nwT)^2 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

[0075] 와 같은 형태를 얻을 수 있다.

[0076] 비슷한 방법으로 dc 오프셋 성분 $x_0(t)$ 를 AR 모델로 표현하면 다음과 같은 AR(1) 모델을 얻을 수 있다.

[0077] 수학식 10

$$x_0(t) = C_0 \exp^{-t/\tau}$$

[0078] $x_0[k+1] = (1 - T/\tau)x_0[k]$

[0079] 이를 행렬식으로 표현하면, 다음과 같다.

[0080] 수학식 11

$$x_0^{k+1} = a_0 x_0^k$$

[0081] 시간 $t=kT$ 로 가정하는 경우 전류 $i(t)$ 의 이산 시간 형태는 수학식 12와 같이 나타낼 수 있다.

[0082] 수학적식 12

$$i[k] = x_0[k] + \sum_{n=0}^m x_n[k]$$

$$= C_0 \exp^{-kT/\tau} + \sum_{n=1}^m C_n \sin\left(\frac{2\pi n}{N}k + \phi_n\right)$$

[0083] 여기서, T는 샘플링 간격이며, N은 주기당 샘플링 수를 말한다.

[0084] i[k]를 m조파까지 고려하는 경우, 전류신호 i(t)는 2m + 1차의 다음의 식과 같은 AR 모델로 나타낼 수 있다.

[0085] 수학적식 13

$$i[k + 1] = \Phi^T(k)\theta$$

[0086] 여기서, $\Phi(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-2m]]^T$ 이며, $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}]^T$ 이다. 또한, i[k]는 현재 시점에 샘플링된 전류, i[k-1]은 한 샘플링주기 직전의 샘플링된 전류, i[k-2m]은 2m 샘플링주기 직전의 샘플링된 전류, θ 는 상기 AR 계수, 그리고 m은 임의의 자연수를 나타낸다.

[0087] 포화된 변류기의 2차 전류를 추정하기 위해서는 수학적식 13과 같은 AR 모델의 계수 θ 를 구해야만 한다(S307). 이때, 표현된 AR 모델의 계수를 구하기 위하여, 변류기의 포화되지 않은 구간의 전류 데이터를 이용하는 방법(이하, '방법 A'로 명명한다)과, 계전기 설치점 배후의 등가전원의 시정수를 직류 오프셋 성분의 시정수로 가정하여 구하는 방법(이하, '방법 B'로 명명한다)을 사용할 수 있다.

[0088] 먼저, 방법 A에 의한 AR 계수의 추정에 관하여 설명한다.

[0089] 수학적식 13과 같이 모델링된 전류 신호에서 $\phi(k)$ 는 샘플링된 전류 값을 원소로 하는 행렬이며, θ 는 AR 모델의 계수로서 구해야 하는 값이다. 2m + 1개의 θ 원소 값을 구하기 위해서는 $L \geq 2m + 1$ 개의 방정식을 사용하여야 한다. 따라서, 고장 발생 이후 변류기 포화 개시 시점까지 또는 포화 종료 이후의 (포화되지 않은 구간의) 전류 샘플 수가 최소 L + 2m + 1 개 필요하다. 변류기가 심하게 포화되어 고장 발생 이후 변류기 포화 개시 시점까지의 구간에서 필요한 샘플 데이터를 확보하지 못하는 경우, 추정된 변류기 2차 전류의 과도 에러가 커지게 되는 단점이 있으며, 이와 같은 단점을 보완하기 위하여, 변류기 포화 종료 이후의 데이터를 추가적으로 사용될 수 있다. 일반적으로 계전기는 고장 발생 이후 1.5사이클(25ms) 이내에 동작하도록 설계되고, 변류기 포화 현상은 포화가 심한 경우에도 고장 발생 이후 약 1사이클(16.6ms) 전후에 종료된다. 따라서 포화 종료 이후의 데이터를 추가적으로 사용하는 방법은 계전기의 동작 속도에 큰 영향을 주지 않고 보상 알고리즘의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

[0090] 상기와 같은 이유에 따라 변류기의 포화되지 않은 구간으로부터 L+2m + 1 개 이상의 전류 데이터를 샘플링한다(S305). 샘플링된 전류 데이터에 기초하여 다음과 같은 방정식을 세울 수 있다.

[0091] 수학적식 14

$$i[k] = \Phi^T(k-1)\theta$$

[0092] $i[k-1] = \Phi^T(k-2)\theta$

[0093] $i[k-2] = \Phi^T(k-3)\theta$

[0094] \vdots

[0095] \vdots

[0096] \vdots

[0097] $i[k-L+1] = \Phi^T(k-L)\theta$

[0098] 이것을 다시 표현하면, 다음과 같다.

[0099] 수학식 15

$$Y(k) = \Phi(k)^{\wedge}\theta$$

[0100] 여기서, $Y(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-L+1]]^T$,

[0101] $\Phi(k) = [\Phi^T(k-1) \ \Phi^T(k-2) \ \dots \ \Phi^T(k-L)]^T$, $\wedge\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}]^T$ 이며, L은 자연수이다. 따라서 최소 자승법을 이용하면 다음과 같이 AR 계수를 구할 수 있다.

[0102] 수학식 16

$$\wedge\theta(k) = [\Phi^T(k)\Phi(k)]^{-1}\Phi^T(k)Y(k)$$

[0103] 최소 자승법을 이용하여 AR 계수를 구하는 방법은 포화되지 않은 구간의 전류 데이터만을 사용함으로써 포화 구간의 전류 신호를 추정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 $2m+1$ 개의 AR 계수를 구하기 위해서는 $L \geq 2m+1$ 개의 방정식을 사용하여야 하므로, 고장 발생 이후 변류기 포화 개시점까지 또는 변류기 포화 종료 이후에 포화되지 않은 구간의 전류 샘플 수가 최소 $L+2m+1$ 개만큼 필요하게 된다. 변류기가 심하게 포화되어 필요한 만큼의 샘플 데이터를 확보하지 못하는 경우 추정된 변류기 2차 전류의 과도 에러가 커지게 된다.

[0104] 다음에, 방법 B에 의한 AR 계수의 추정에 관하여 설명한다.

[0105] 전류신호 $i(t)$ 를 다음의 식과 같이 지수 감쇄하는 dc 오프셋 성분과 기본파 및 m조파 사인성분까지의 합으로 가정하면,

[0106] 수학식 17

$$i(t) = C_0 \exp^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^m C_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

[0107] n조파 사인성분의 AR 모델은 다음의 식과 같다.

[0108] 수학식 18

$$x_n(t) = C_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

$$x_n[k+1] = (2 - (n\omega T)^2)x_n[k] - x_n[k-1]$$

[0109] 또한, 지수 감쇄하는 dc 오프셋 성분의 AR 모델은 다음의 식과 같다.

[0110] 수학식 19

$$x_0(t) = C_0 \exp^{-t/\tau}$$

$$x_0[k+1] = (1 - T/\tau)x_0[k]$$

[0111] 수학식 18 및 수학식 19에서 알 수 있듯이 n조파 사인성분의 AR 계수는 주파수(n ω) 및 샘플링 간격(T)에 의해 표현되고, dc 성분의 계수는 샘플링 간격(T)과 시정수(τ)에 의해 표현된다. 이 세 개의 값들 중 알지 못하는 값은 dc 성분의 시정수(τ) 뿐이므로 시정수를 일정 값으로 가정하면 전류 신호의 AR 계수(θ)를 사전에 계산할 수 있게 된다. 결과적으로 다음의 식과 같이 포화 구간의 전류를 추정하는데 필요한 데이터의 수는 AR 모델의 차수와 동일한 $2m+1$ 개만 필요하게 된다(S305).

[0112] 수학적식 20

$$i[k + 1] = \Phi^T(k)\theta$$

[0113] 여기서, $\Phi(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-2m]]^T$ 이며, $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}]^T$ 이다. AR 모델의 계수를 미리 계산하는 방식은 전류 신호 추정에 필요한 샘플 수를 최소화하기 위한 것이므로 여기서는 고장 전류를 dc 오프셋 성분과 기본파 성분만으로 가정하여 3차 AR 모델로 모델링 하였다.

[0114] 상기와 같은 방법에 따라 변류기의 포화시의 AR 모델 계수를 추정하고(S307), 추정된 AR 모델 계수에 기초하여 변류기의 정상적인 2차 전류 즉, 변류비에 일치하는 2차 전류를 추정함으로써(S309), 변류기의 포화에 의해 왜곡된 변류기의 2차 전류를 보상할 수 있게 된다.

[0115] 도 6은 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법을 검증하기 위해 사용된 모델 계통의 실시 예를 개략적으로 도시한 도면이다. 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법을 검증하기 위해 345kV, 100km 가공 송전선로를 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 사용하여 모의하였다. EMTP에 입력된 데이터는 표 1에 나타난 바와 같다.

【표 1】

종류	R	L	C
Zs0	1.5870[Ω]	31.554[mH]	
Zs1	0.7888[Ω]	15.777[mH]	
Zs2	0.7888[Ω]	15.777[mH]	
Zr0	5.5847[Ω]	82.664[mH]	
Zr1	2.6662[Ω]	42.350[mH]	
Zr2	2.6662[Ω]	42.350[mH]	
ZL0	0.2511[Ω/km]	2.7058[mH/km]	0.0045[μF/km]
ZL1	0.0345[Ω/km]	0.9724[mH/km]	0.0117[μF/km]
ZL2	0.0345[Ω/km]	0.9724[mH/km]	0.0117[μF/km]

[0117] 상정 고장은 S 모선으로부터 2km 지점의 A상 지락 고장이며, 주기당 64 샘플링 하였다. 변류기 포화의 주요 원인 중 하나인 dc 오프셋 성분이 최대로 나타나는 전압 위상각 0° 고장, 잔류 자속은 -80% ~ 80%로 변화시키며 모의하였다.

[0118] 잔류 자속의 모의를 위해 CT(Current Transformer) 모델링은 논문 "Experimental Evaluation of EMTP-Based Current Transformer Models for Protective Relay Transient Study"(M. Kezunovic, L. Kojovic, A. Abur, C. W. Fromen, F. Phillips, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 9, No. 1, pp.405-413, January 1994)에 기재된 방법을 사용하였으며, C400 CT(2000:5, R2 = 0.61Ω)에 3.42Ω의 저항성 부품을 연결하였다. EMTP 보조 루틴인 HYSDAT을 이용하여 히스테리시스(hysteresis) 데이터를 만들었으며, 포화점은 (2.047A, 1.512Vs)이다.

[0119] 또한, 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법의 성능 평가를 위해 다음의 식과 같은 과도 에러(transient error) 계산식을 사용하여 에러를 계산하였다.

[0120] 수학적식 21

$$transient\ error(\%) = \frac{K_n \cdot i_2(t) - i_1(t)}{\sqrt{2} \cdot I_{psc}} \times 100(\%)$$

[0121] 여기서, I_{psc} 는 단락회로 전류, K_n 은 변류기 비, $i_1(t)$ 는 변류기의 1차측 전류, 그리고 $i_2(t)$ 는 변류기의 2차측 전류이다.

[0122] 도 7은 5차 AR 모델로 모델링한 경우에 방법 A를 사용하여 왜곡된 2차 전류를 보정한 결과의 일 예를 나타낸 도면이다. 이 경우, 잔류자속은 0%로 하였으며, 고장 투입각은 0°로 가정하였다.

[0123] 첫 번째 그래프는 2차측으로 변환된 변류기 1차측 전류와 측정된 변류기 2차 전류를 나타낸 것이며, 두 번째 그래프는 방법 A에 의해 보상된 2차 전류를 나타낸 것이다. 또한, 세 번째 그래프는 보상된 2차 전류의 과도 에러를 보인 것으로 최대 과도 에러가 1.0% 이내임을 알 수 있다.

[0124] 방법 A는 포화되지 않은 구간의 전류 데이터만을 사용하여 포화 구간의 전류를 보상할 수 있다는 장점이

있으나, 고장 전류를 5차 AR 모델로 가정하고 8개 이상의 방정식을 사용하였으므로 AR 계수를 추정하기 위해서 필요한 최소한의 샘플 수는 13개가 된다. 변류기가 심하게 포화되어 필요한 만큼의 샘플 데이터를 확보하지 못하는 경우 추정된 변류기 2차 전류의 과도 에러가 커지게 되며, 이러한 경우의 일 예를 도 8에 나타내었다.

[0125] 방법 B의 경우 AR 계수를 사전에 계산하였으므로 포화 구간의 전류를 추정하는데 필요한 데이터의 수는 AR 모델의 차수와 동일한 $2m + 1$ 개만 필요하다.

[0126] 도 9는 3차 AR 모델로 모델링한 경우에 방법 B를 사용하여 왜곡된 2차 전류를 보정한 결과의 일 예를 나타낸 도면이며, 도 10은 3차 AR 모델로 모델링한 경우에 방법 B를 사용하여 왜곡된 2차 전류를 보정한 결과의 다른 예를 나타낸 도면이다. 즉, 도 9 및 도 10은 각각 잔류 자속이 0%인 경우 및 잔류 자속이 80%인 경우에 방법 B를 사용하여 보정한 결과를 나타낸 것이며, 이때의 최대 과도 에러를 나타낸 표 2를 참조하면, 최대 오차는 1.7% 이내로써 변류기가 심하게 포화된 경우에도 변류비에 맞는 변류기 2차 전류를 정확하게 추정함을 알 수 있다.

【표 2】

[0127]

고장거리 : 0.02pu, 고장 투입각 : 0°					
잔류 자속[%]	0	20	40	60	80
최대 에러[%]	-1.30	1.62	1.63	1.66	1.44
잔류 자속[%]		-20	-40	-60	-80
최대 에러[%]		1.34	1.11	1.01	1.03

[0128] 방법 B는 지수 감쇄하는 dc 성분의 시정수를 가정하여 AR 계수를 계산하였기 때문에, 고장 전류의 직류 성분 시정수가 가정한 값과 다른 경우 오차의 원인이 된다. 표 3 및 표 4는 이와 같은 경우의 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법의 성능을 평가한 것이다.

【표 3】

[0129]

잔류 자속 60[%], 고장 투입각 : 0°					
고장 거리[pu]	0.02	0.2	0.4	0.6	0.8
최대 에러[%]	1.66	1.79	-0.99	-1.13	0.55

【표 4】

[0130]

구분		전원의 시정수 변화량[%]				
		-20	-10	0	10	20
잔류 자속 [%]	-80	-0.89	-0.80	1.03	1.29	1.81
	-60	-0.80	-1.10	1.01	1.39	1.83
	-40	-1.20	-0.83	1.11	1.88	2.32
	-20	-1.15	-0.98	1.34	2.03	2.87
	0	-1.98	-1.40	-1.30	1.89	2.73
	20	-1.31	-0.94	1.62	2.52	3.30
	40	-1.41	-0.94	1.63	2.55	3.43
	60	-1.68	-0.95	1.66	2.58	3.47
	80	3.24	0.54	1.44	2.34	3.24

[0131] 표 3은 잔류 자속 60%, 0 ~ 0.8[pu]의 거리에서 고장이 발생했을 경우 방법 B를 사용하여 보정한 결과를 나타낸 것이다. 최대 과도에러는 1.8% 이내로써 고장 거리의 변화에 영향을 받지 않고, 변류비에 맞는 2차 전류를 추정함을 알 수 있다.

[0132] 본 발명에 따른 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법에서 dc 성분의 시정수로 가정한 전원 시정수는 설치점 배후의 테브낭 등가 임피던스에 의해 계산되는 값이므로, 배후 계통 조건이 변경되었을 때 변화되는 값이다.

[0133] 표 4는 고장 거리가 0.02[pu]이며, 고장 투입각이 0° 인 경우의 전원 임피던스 변화에 따른 방법 B의 최대 과도에러를 나타낸 것으로서, 이와 같은 경우 방법 B의 영향을 분석하기 위해 등가 전원의 시정수를 -20% ~ 20%로 변화시켜가며 테스트한 결과이다. 최대 과도에러는 4% 이내로 배후전원의 시정수 변화에 큰 영향을 받지 않고 변류비에 맞는 2차 전류를 추정함을 알 수 있다.

발명의 효과

- [0134] 본 발명에 따르면, 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법은 변류기 포화에 의해 왜곡된 2차 전류를 보상하기 위해 변류기 데이터를 필요로 하지 않고, 단지 샘플링된 전류 데이터만을 사용하므로, 초기에 잔류 자속이 없는 경우 뿐만 아니라 잔류 자속이 존재하는 경우에도 왜곡된 변류기의 2차 전류의 보상이 가능하게 된다.
- [0135] 또한, 본 발명에 따르면, 변류기의 잔류 자속이 크고 변류기의 포화가 심한 경우에도 최대 과도에러에 의한 별다른 영향 없이 변류기의 2차 전류를 추정하는 것이 가능하게 된다.
- [0136] 또한, 본 발명에 따르면, 변류기의 포화되지 않은 구간으로부터의 샘플링된 전류 데이터의 수에 따라 선택적으로 왜곡된 변류기의 2차 전류를 추정할 수 있게 된다.
- [0137] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대해서 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변형은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

청구의 범위

청구항 1

- (a) 변류기의 포화구간을 검출하는 단계;
- (b) 전력계통의 고장시 발생하는 전류를 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과, 기본파 및 고조파 성분의 조합으로 가정하여 AR(Autoregressive) 모델로 표현하고, 상기 AR 모델의 계수를 추정하는 단계; 및
- (c) 추정된 상기 AR 모델의 계수에 기초하여, 복수개의 샘플링된 2차 전류 데이터를 이용한 상기 변류기의 포화시의 정상적인 2차 전류를 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 상기 (a) 단계는 웨이브렛(wavelet) 변환을 이용하여 상기 변류기의 포화구간을 검출하는 것으로서, 상기 변류기의 2차 전류를 필터뱅크로 통과시킨 후 하이패스 필터 출력을 이용하여 상기 변류기의 포화구간을 검출하는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,
 상기 (a) 단계는 상기 변류기의 2차 전류의 2차 이상의 차분을 이용하여 상기 변류기의 포화구간을 검출하는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중의 어느 한 항에 있어서,
 상기 AR 모델은 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과 사인성분의 기본파 및 m차까지의 고조파 성분을 고려하여 다음과 같은 (2m + 1)차의 형태로 표현되는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법:

$$i[k + 1] = \Phi^T(k)\theta$$

이때, $\Phi(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-2m]]^T$
 $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}]^T$ 이며,

i[k]는 현재 시점에 샘플링된 전류, i[k-1]은 한 샘플링주기 직전의 샘플링된 전류, i[k-2m]은 2m 샘플링 주기 직전의 샘플링된 전류, θ 는 상기 AR 계수, 그리고 m은 임의의 자연수를 나타낸다.

청구항 5

제 1항에 있어서,
 상기 복수개의 샘플링된 2차 전류 데이터는 상기 변류기의 포화종료 이후에 샘플링된 값들을 포함하는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,
 상기 AR 모델로부터 다음과 같은 행렬식이 산출되는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법:

$$Y(k) = \Phi(k)^{\wedge}\theta$$

여기서, $Y(k) = [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-L+1]]^T$

$$\Phi(k) = [\Phi^T(k-1) \Phi^T(k-2) \dots \Phi^T(k-L)]^T$$

$$\hat{\theta} = [\theta_1 \theta_2 \dots \theta_{2m+1}]^T$$

이며, L은 자연수.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 AR 계수는 상기 행렬식에 기초하여 다음의 식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법:

$$\hat{\theta}(k) = [\Phi^T(k)\Phi(k)]^{-1}\Phi^T(k)Y(k).$$

청구항 8

제 1항 내지 제 3항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 AR 모델 중 n조파 사인성분은 다음과 같은 식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법:

$$x_n[k+1] = (2-(nwT)^2)x_n[k]-x_n[k-1]$$

여기서, nw는 주파수, T는 샘플링 간격, $x_n[k]$ 는 현재 시점에 샘플링된 n조파 사인성분의 전류, $x_n[k-1]$ 는 한 샘플링주기 직전에 샘플링된 n조파 사인성분의 전류를 나타낸다.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 AR 모델 중 지수 감쇄하는 DC 오프셋 성분은 다음과 같은 식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법:

$$x_0[k+1] = (1-T/\tau)x_0[k]$$

여기서, τ 는 시정수를 나타낸다.

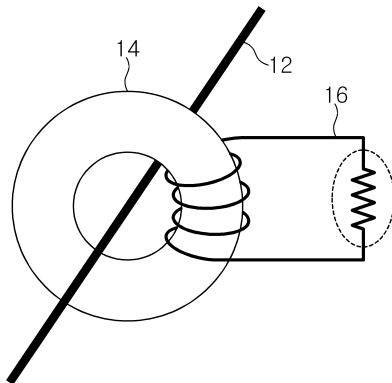
청구항 10

제 8항 또는 제 9항에 있어서,

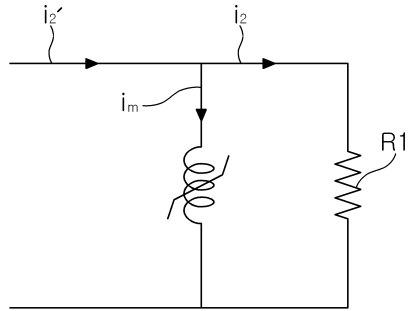
상기 AR 계수는 주파수(nw), 샘플링 간격(T), 및 계전기 설치점 배후의 등가 전원 시정수를 이용하여 미리 계산되는 것을 특징으로 하는 왜곡된 변류기의 2차 전류 보상방법.

도면

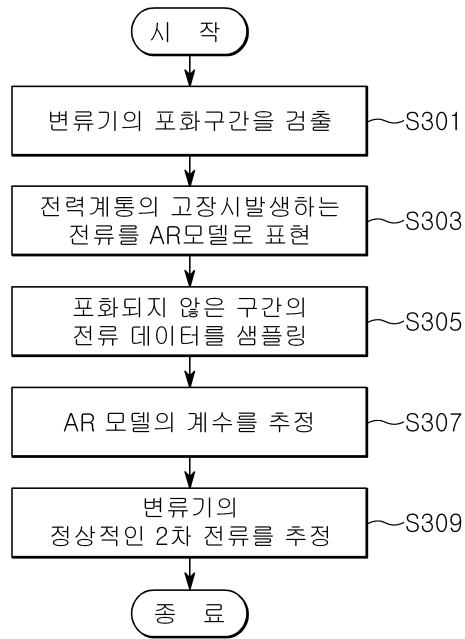
도면1



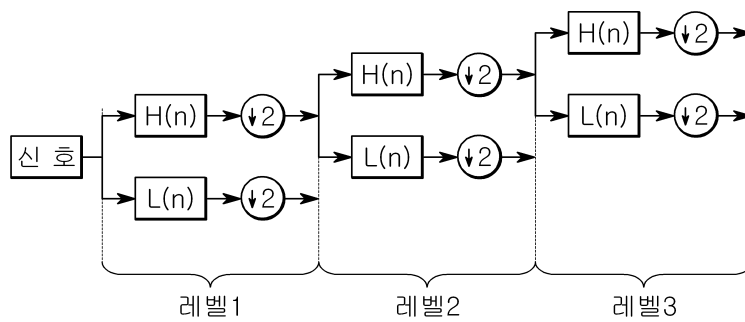
도면2



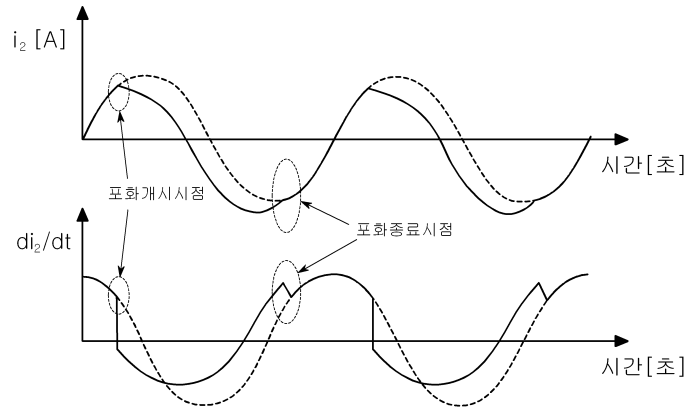
도면3



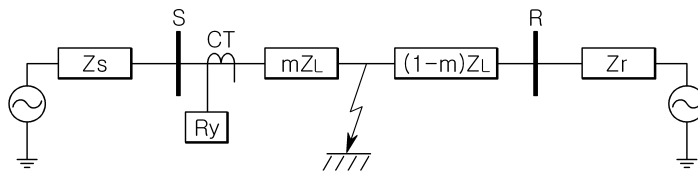
도면4



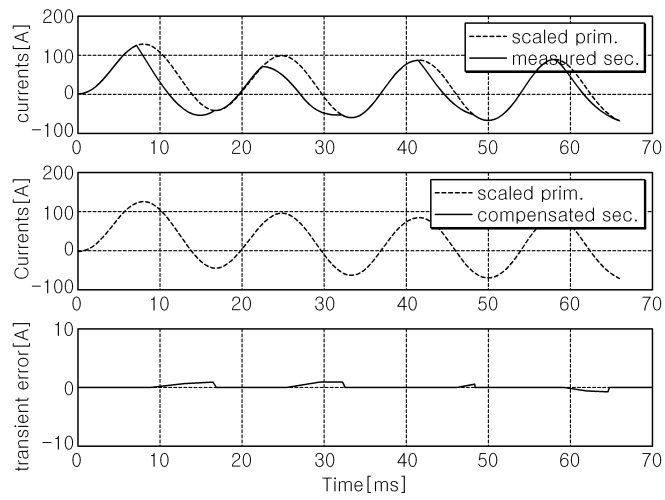
도면5



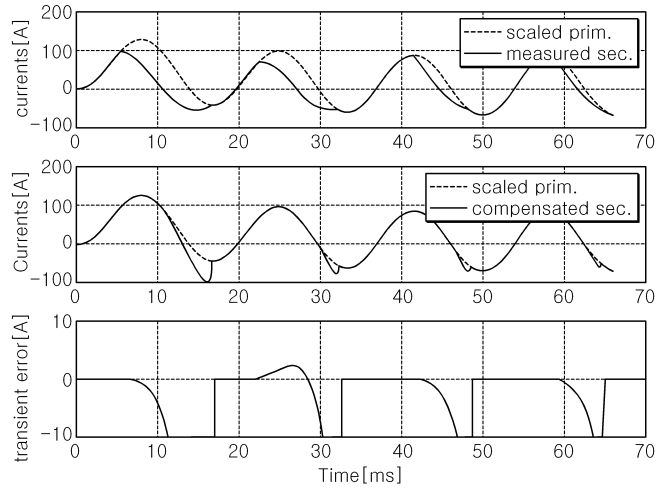
도면6



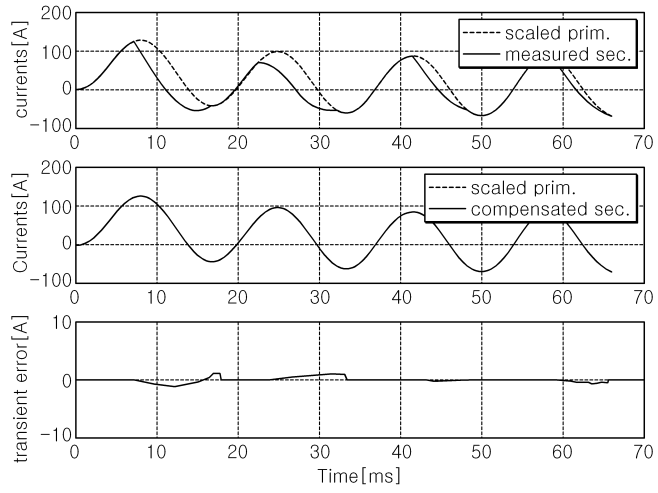
도면7



도면8



도면9



도면10

