



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월30일
(11) 등록번호 10-1322656
(24) 등록일자 2013년10월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/08 (2006.01) G01R 19/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0053791

(22) 출원일자 2012년05월21일

심사청구일자 2012년05월21일

(56) 선행기술조사문헌

KR100872798 B1

KR100797191 B1

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

장길수

서울 중랑구 묵1동 신내5단지 대림아파트 513-503

한종훈

서울 송파구 잠실5동 주공아파트 528-1310

(74) 대리인

특허법인주원

전체 청구항 수 : 총 11 항

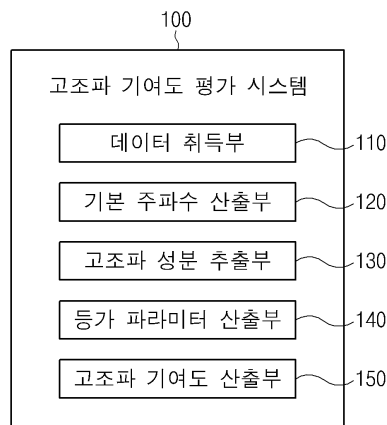
심사관 : 김성훈

(54) 발명의 명칭 고조파 기여도 평가 시스템, 방법 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램 기록한 매체

(57) 요약

고조파 기여도 평가 시스템은 데이터 취득부, 고조파 성분 추출부, 등가 모델 파라미터 산출부, 및 고조파 기여도 산출부를 포함한다. 데이터 취득부는 전력 계통의 미리 설정된 지점에서의 전압 및 전류 데이터를 취득하고, 고조파 성분 추출부는 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 고조파 성분을 추출하고, 등가 모델 파라미터 산출부는 고조파 성분으로부터 상기 지점에서의 전력 계통의 등가 모델 파라미터를 산출하며, 고조파 기여도 산출부는 산출된 등가 모델 파라미터를 이용하여 상기 지점에서의 전원측 및 수용가측의 개별 고조파 전류 기여도 및 개별 전압 기여도 중 하나 이상을 산출한다. 이러한 구성으로, 전력 계통에서 전력 공급자와 수용가들이 고조파 발생에 각각 기여하는 정도를 정확하게 판별하여 고조파에 대한 대책을 수립할 수 있게 된다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20101020300580-12-1-000

부처명 기초전력연구원

연구사업명 전력산업연구개발사업

연구과제명 [주관]경제성을 고려한 최적의 순간전압강하 보상장치 선정 기법 개발

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2011.06.01 ~ 2012.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

전력 계통의 미리 설정된 지점에서의 전압 및 전류 데이터를 취득하는 데이터 취득부;

상기 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 고조파 성분을 추출하는 고조파 성분 추출부;

상기 고조파 성분으로부터 상기 지점에서의 상기 전력 계통의 등가 모델 파라미터를 산출하는 등가 모델 파라미터 산출부; 및

상기 등가 모델 파라미터를 이용하여 상기 지점에서의 전압 및 수용가치의 개별 고조파 전류 기여도 및 개별 전압 기여도 중 하나 이상을 산출하는 고조파 기여도 산출부를 포함하는 고조파 기여도 평가 시스템으로서,

상기 개별 고조파 전류 기여도는 아래의 수학식에 의해 산출되고,

$$IHCI_{h,k} = \left| \frac{V_{h,k}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \right| / |I_{1,k}|, \quad IHCI_{h,0} = \left| \frac{E_{h,0}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \right| / |I_{1,0}|,$$

상기 개별 고조파 전압 기여도는 아래의 수학식에 의해 산출되며,

$$IHVI_{h,k} = \left| \frac{Z_{h,k,shunt}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \times V_{h,k} \right| / |V_{1,pcc}|, \quad IHVI_{h,0} = \left| \frac{Z_{h,0,shunt}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \times E_{h,0} \right| / |V_{1,pcc}|,$$

$Z_{h,T}$ 는 전원측 총 임피던스의 합이고, $I_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류 페이서이고, $|I_{1,0}|$ 는 기본 주파수에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|I_{1,k}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점에 연결된 k 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|V_{1,pcc}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점에서 측정된 전압의 크기이고, $E_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 임피던스이고, $V_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 임피던스이고, $Z_{h,k,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에서 바라본 등가 임피던스이고, $Z_{h,0,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 전원측에서 바라본 등가 임피던스이고, $IHC I_{h,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전류 기여도이며, $IHVI_{h,k}$: 상기 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전압 기여도인 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 고조파 기여도 산출부는 아래의 수학식을 이용하여 상기 지점에서의 종합 고조파 전류 기여도를 산출하고,

$$THCI_{I,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHCI_{h,k}|^2},$$

$THCI_{I,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전류 기여도인 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 시스템.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 고조파 기여도 산출부는 아래의 수학적식을 이용하여 상기 지점에서의 종합 고조파 전압 기여도를 산출하고,

$$THC_{V,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHVI_{h,k}|^2},$$

$THC_{V,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전압 기여도인 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 고조파 성분 추출부는 칼만 필터를 이용하여 고조파 성분을 추출하는 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 시스템.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 기본 주파수를 산출하는 기본 주파수 산출부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 시스템.

청구항 6

전력 계통의 미리 설정된 지점에서의 전압 및 전류 데이터를 취득하는 데이터 취득 단계;

상기 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 고조파 성분을 추출하는 고조파 성분 추출 단계;

상기 고조파 성분으로부터 상기 지점에서의 상기 전력 계통의 등가 모델 파라미터를 산출하는 등가 모델 파라미터 산출 단계; 및

상기 등가 모델 파라미터를 이용하여 상기 지점에서의 전원측 및 수용가측의 개별 고조파 전류 기여도 및 개별 전압 기여도 중 하나 이상을 산출하는 고조파 기여도 산출 단계를 포함하는 고조파 기여도 평가 방법으로서,

상기 개별 고조파 전류 기여도는 아래의 수학적식에 의해 산출되고,

$$IHCI_{h,k} = \left| \frac{V_{h,k}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \right| / |I_{1,k}|, \quad IHCI_{h,0} = \left| \frac{E_{h,0}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \right| / |I_{1,0}|,$$

상기 개별 고조파 전압 기여도는 아래의 수학적식에 의해 산출되며,

$$IHVI_{h,k} = \left| \frac{Z_{h,k,shunt}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \times V_{h,k} \right| / |V_{1,pcc}|, \quad IHVI_{h,0} = \left| \frac{Z_{h,0,shunt}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \times E_{h,0} \right| / |V_{1,pcc}|,$$

$Z_{h,T}$ 는 전원측 총 임피던스의 합이고, $I_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류 페이서이고,

$|I_{1,0}|$ 는 기본 주파수에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|I_{1,k}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점

에 연결된 k 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|V_{1,pcc}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점에서 측정된 전압의

크기이고, $E_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측

테브닌 등가 임피던스이고, $V_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 전압 페

이서이고, $Z_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 임피던스이고,

$Z_{h,k,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에서 바라본 등가 임피던스이고, $Z_{h,0,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 전원측에서 바라본 등가 임피던스이고, $IHCI_{h,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전류 기여도이며, $IHVI_{h,k}$: 상기 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전압 기여도인 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 고조파 기여도 산출 단계는 아래의 수학적식을 이용하여 상기 지점에서의 종합 고조파 전류 기여도를 산출하고,

$$THC_{I,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHCI_{h,k}|^2},$$

$THC_{I,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전류 기여도인 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 방법.

청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 고조파 기여도 산출 단계는 아래의 수학적식을 이용하여 상기 지점에서의 종합 고조파 전압 기여도를 산출하고,

$$THC_{V,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHVI_{h,k}|^2},$$

$THC_{V,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전압 기여도인 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 방법.

청구항 9

제 6항에 있어서,

상기 고조파 성분 추출 단계는 칼만 필터를 이용하여 고조파 성분을 추출하는 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 기본 주파수를 산출하는 기본 주파수 산출 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고조파 기여도 평가 방법.

청구항 11

제 6 내지 10항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 전력 품질 해석 장치, 및 방법에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 전력 계통에서 고조파의 기여도를 평가하기 위한 방법 및 상기 방법을 실행시키기 위한 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 오늘날의 산업은 제조 공정상의 효율성을 높이기 위해 자동화 설비에 대한 구축이 점점 증가하고 있다. 산업용 수용가들의 이러한 경향으로 인하여 배전계통에 유입되는 비선형 부하가 증가하고 있으며, 이는 전력계통으로 유입되는 고조파 전류가 늘어나고 있음을 의미한다.
- [0003] 따라서 전력공급자 측면에서는 수용가로부터 야기되는 고조파 전류의 유입을 제한하여 계통의 전압 왜곡을 방지할 수 있고, 이를 위반할 경우에 벌금과 같은 제약 사항을 고려할 수 있다.
- [0004] 일반적으로 전압 혹은 전류 파형의 고조파 왜곡을 측정하기 위해 흔히 사용되는 두 가지 지수로 IEEE Std. 519에서 제시한 total harmonic distortion (THD)와 total demand distortion (TDD)가 있으나, 모니터링 지점에서의 고조파 발생원을 구분할 수 있는 정보는 제공하지 못하고 있다.
- [0005] 또한, 단순한 계산방법으로 total harmonic power (THP)를 계산한 결과의 부호를 이용하는 방법이 소개되어 있으나, 이 방법은 단순히 고조파 발생원이 모니터링 지점으로부터 상단 혹은 하단에 위치하는 지를 판별하는 방법으로서, 비방사상 계통에 대해 적용할 수 없다.
- [0006] 또한, THP의 부호는 이를 계산하기 위한 전압과 전류의 위상차에 큰 영향을 받게 되어 특히 차수가 높은 고조파에 대한 결과값은 전압과 전류의 위상차가 크게 날 경우에 신뢰도가 떨어질 수 있다는 문제점이 있다.
- [0007] 이 밖에도 전력공급자와 수용가를 노턴 등가화 모델로 구성하여 각 고조파 차수에 대해 중첩의 원리를 이용한 고조파 발생원 검출 방법도 소개되어 있으나, 이 방법은 계통 운영 조건마다 각 고조파 차수에 대한 전력공급자와 수용가에 대한 노턴 등가화 모델이 필요하기 때문에 많은 계산이 요구되는 단점이 있으며, 테브닌 등가 모델을 이용한 방법에서도 마찬가지로 동일한 문제가 발생한다. 그리고, 이러한 방법들에서는 모두 수용가 부하에 대한 임피던스 정보가 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 전력 계통에서 전력 공급자와 수용가들이 고조파 발생에 각각 기여하는 정도를 정확하게 판별하여 고조파에 대한 대책을 수립할 수 있도록 해 주는 시스템, 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 고조파 기여도 평가 시스템은 데이터 취득부, 고조파 성분 추출부, 등가 모델 파라미터 산출부, 및 고조파 기여도 산출부를 포함한다.
- [0010] 데이터 취득부는 전력 계통의 미리 설정된 지점에서 전압 및 전류 데이터를 취득하고, 고조파 성분 추출부는 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 고조파 성분을 추출하고, 등가 모델 파라미터 산출부는 개별 고조파 성분으로부터 상기 지점에서의 전력 계통의 등가 모델 파라미터를 산출하며, 고조파 기여도 산출부는 산출된 등가 모델 파라미터를 이용하여 상기 지점에서의 전원측 및 수용가측의 개별 고조파 전류 기여도 및 개별 전압 기여도 중 하나 이상을 산출한다.
- [0011] 이때, 개별 고조파 전류 기여도는 아래의 수학식에 의해 산출되고,

$$IHCI_{h,k} = \left| \frac{V_{h,k}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \right| / |I_{1,k}|, \quad IHCI_{h,0} = \left| \frac{E_{h,0}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \right| / |I_{1,0}|$$

- [0013] 개별 고조파 전압 기여도는 아래의 수학식에 의해 산출된다.

$$IHVI_{h,k} = \left| \frac{Z_{h,k,shunt}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \times V_{h,k} \right| / |V_{1,pcc}|, \quad IHVI_{h,0} = \left| \frac{Z_{h,0,shunt}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \times E_{h,0} \right| / |V_{1,pcc}|$$

- [0015] 여기서, $Z_{h,T}$ 는 전원측 총 임피던스의 합이고, $I_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류 페이서이고, $|I_{1,0}|$ 는 기본 주파수에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|I_{1,k}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상

기 지점에 연결된 k 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|V_{1,pccl}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점에서 측정된 전압의 크기이고, $E_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 임피던스이고, $V_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 임피던스이고, $Z_{h,k,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에서 바라본 등가 임피던스이고, $Z_{h,0,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 전원측에서 바라본 등가 임피던스이고, $IHC_{h,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전류 기여도이며, $IHV_{h,k}$: 상기 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전압 기여도이다.

[0016] 이러한 구성으로, 전력 계통에서 전력 공급자와 수용가들이 고조파 발생에 각각 기여하는 정도를 정확하게 판별하여 고조파에 대한 대책을 수립할 수 있게 된다.

[0017] 또한, 고조파 기여도 산출부는 아래의 수학적식들을 이용하여 상기 지점에서의 종합 고조파 전류 기여도, 및 종합 고조파 전압 기여도를 산출할 수 있으며,

$$THC_{I,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHC_{h,k}|^2}, \quad THC_{V,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHV_{h,k}|^2},$$

[0019] 이때, $THC_{I,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전류 기여도, $THC_{V,k}$ 는 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전압 기여도를 의미한다. 이러한 구성은 개별 주체들의 개별 고조파 기여도뿐만 아니라, 상기 지점에서의 종합적인 고조파 기여도 상황을 판별할 수 있도록 해 준다.

[0020] 또한, 고조파 성분 추출부는 칼만 필터를 이용하여 고조파 성분을 추출할 수 있다. 이 경우, 실제 현장에서 검출되는 측정 에러와 기본 고조파의 정수배가 아닌 중간 고조파를 고려하여 고조파 성분을 추출할 수 있게 된다.

[0021] 또한, 취득된 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 기본 주파수를 산출하는 기본 주파수 산출부를 더 포함할 수 있다. 이 경우, 칼만 필터를 이용한 고조파 성분 추출을 더욱 정밀하게 수행할 수 있게 된다.

[0022] 아울러, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현한 발명, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 의하면, 전력 계통에서 전력 공급자와 수용가들이 고조파 발생에 각각 기여하는 정도를 정확하게 판별하여 고조파에 대한 대책을 수립할 수 있게 된다.

[0024] 또한, 개별 주체들의 개별 고조파 기여도뿐만 아니라, 관심 지점에서의 종합적인 고조파 기여도 상황을 판별할 수 있게 해 준다.

[0025] 또한, 실제 현장에서 검출되는 측정 에러와 기본 고조파의 정수배가 아닌 중간 고조파를 고려하여 고조파 성분을 추출할 수 있게 된다.

[0026] 또한, 칼만 필터를 이용한 고조파 성분 추출을 더욱 정밀하게 수행할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 PCC(Point of Common Coupling)에 연결된 전력 공급원 측과 다수의 수용가를 포함하는 전력 계통을 개략적으로 도시한 도면.

도 2는 본 발명에 따른 고조파 기여도 평가 시스템의 일 실시예의 개략적인 블록도.

도 3은 본 발명에 따른 고조파 기여도 평가 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도 4는 도 3의 고조파 기여도 평가 방법의 구체적인 구성을 도시한 도면.

도 5는 도 1에 대한 테브닌 등가 회로도.

도 6은 전원측 임피던스 성분 변동시 수정된 전원측 등가 회로도.

도 7은 PCC에 연결된 전력 공급원 측과 두 개의 수용가를 포함하는 배전 시스템의 개략적인 도면.

도 8은 도면 5의 전원측 및 개별 수용가별 IHVI 계산 결과를 도시한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

[0029] 전력 계통에 있어서, 대부분의 고조파 전류는 비선형 부하들을 갖는 수용가로부터 야기된다. 따라서, 도 1에서와 같이, 다수의 수용가가 동일한 피더로부터 전력을 공급받고 있다면 수용가 간의 고조파 왜곡에 대한 책임 소재를 명확히 구분하는 것이 중요하다.

[0030] 도 1은 PCC에 연결된 전력 공급원 측과 다수의 수용가를 포함하는 전력 계통을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 1에서, PCC(Point of common coupling)는 전력의 공급과 수요가 이뤄지는 공통된 접점으로 주로 모니터링 장비가 설치되는 지점이다.

[0031] 그런데 PCC에 대한 고조파 왜곡 원인으로는 고조파 발생원으로부터 야기되는 고조파 전류뿐만 아니라 전력공급자 측의 네트워크 임피던스 변동시에도 영향을 받게 된다. 실제 계통에서는 계통 운영 상황에 따라 네트워크 임피던스는 변동성을 가지고 있지만 종래의 기술은 네트워크 임피던스의 변동성을 고려하지 않고 수용가 측의 고조파 발생원 등가 모델로부터 야기되는 고조파 전류만을 고려하여 고조파 발생 기여도를 평가하고 있다.

[0032] 본 발명에서는 네트워크 임피던스의 변동성을 고려할 뿐만 아니라, 종합 고조파 기여도에 대한 새로운 지수를 제시하여 다수의 수용가들의 고조파 발생에 대한 기여 정도를 보다 정확하고 직관적으로 판별할 수 있게 된다.

[0033] 도 2는 본 발명에 따른 고조파 기여도 평가 시스템의 일 실시예의 개략적인 블록도이다.

[0034] 고조파 기여도 평가 시스템(100)의 각 구성 요소는 데이터 취득부(110), 기본 주파수 산출부(120), 고조파 성분 추출부(130), 등가 모델 파라미터 산출부(140), 및 고조파 기여도 산출부(150)를 포함한다.

[0035] 고조파 기여도 평가 시스템(100)은 하드웨어적으로 구현될 수도 있지만, 소프트웨어적으로 구현되어 하드웨어 장치와 함께 사용될 수도 있다.

[0036] 먼저, 데이터 취득부(110)는 전력 계통의 미리 설정된 PCC 지점에서의 전압 및 전류 데이터를 취득한다.

[0037] 고조파 성분 추출부(130)는 PCC에서 취득된 전압 및 전류 데이터와 기본 주파수 산출부(120)에서 추정된 기본 주파수 성분을 이용하여 PCC 지점을 흐르는 전기의 고조파 성분을 추출한다. 이때, 고조파 성분 추출부(130)는 칼만 필터를 이용하여 고조파 성분을 추출할 수 있다. 이 경우, 실제 현장에서 검출되는 측정 에러와 기본 고조파의 정수배가 아닌 중간 고조파를 고려하여 고조파 성분을 추출할 수 있게 된다.

[0038] 기본 주파수 산출부(120)는 PCC에서 취득된 전압 및 전류 데이터로부터 상기 지점을 흐르는 전기의 기본 주파수를 산출한다. 기본 주파수를 가정한 값을 사용하는 것이 아니라 취득된 데이터로부터 산출한 값을 사용함으로써, 칼만 필터를 이용한 고조파 성분 추출을 더욱 정밀하게 수행할 수 있게 된다.

[0039] 등가 모델 파라미터 산출부(140)는 고조파 성분으로부터 PCC 지점에서의 전력 계통의 등가 모델 파라미터를 산출한다.

[0040] 마지막으로, 고조파 기여도 산출부(150)는 산출된 등가 모델 파라미터를 이용하여 상기 지점에서의 전원측 및 수용가측의 개별 고조파 전류 기여도 및 개별 전압 기여도 중 하나 이상을 산출한다.

[0041] 이때, 개별 고조파 전류 기여도는 아래의 수학식에 의해 산출되고,

$$IHCI_{h,k} = \left| \frac{V_{h,k}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \right| / |I_{1,k}|, \quad IHCI_{h,0} = \left| \frac{E_{h,0}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \right| / |I_{1,0}|$$

[0043] 개별 고조파 전압 기여도는 아래의 수학식에 의해 산출된다.

$$[0044] \quad IHVI_{h,k} = \left| \frac{Z_{h,k,shunt}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \times V_{h,k} \right| / |V_{1,pcc}|, \quad IHVI_{h,0} = \left| \frac{Z_{h,0,shunt}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \times E_{h,0} \right| / |V_{1,pcc}|$$

[0045] 여기서, $Z_{h,T}$ 는 전원측 총 임피던스의 합이고, $I_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류 페이서이고, $|I_{1,0}|$ 는 기본 주파수에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|I_{1,k}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점에 연결된 k 선로에서 측정된 전류의 크기이고, $|V_{1,pcc}|$ 는 기본 주파수에 대하여 상기 지점에서 측정된 전압의 크기이고, $E_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,0}$ 는 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 임피던스이고, $V_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 전압 페이서이고, $Z_{h,k}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 임피던스이고, $Z_{h,k,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 상기 지점에 연결된 수용가 k에서 바라본 등가 임피던스이고, $Z_{h,0,shunt}$ 는 고조파 h에 대하여 PCC 지점에 연결된 전원측에서 바라본 등가 임피던스이고, $IHCI_{h,k}$ 는 PCC 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전류 기여도이며, $IHVI_{h,k}$: PCC 지점에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전압 기여도이다.

[0046] 또한, 고조파 기여도 산출부(150)는 아래의 수학적식들을 이용하여 상기 지점에서의 종합 고조파 전류 기여도, 및 종합 고조파 전압 기여도를 산출한다.

$$[0047] \quad THC_{I,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHCI_{h,k}|^2}, \quad THC_{V,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHVI_{h,k}|^2}$$

[0048] 이때, $THC_{I,k}$ 와 $THC_{V,k}$ 는 각각 PCC 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전류 기여도, 상기 지점에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전압 기여도이다. 이러한 구성은 개별 주체들의 개별 고조파 기여도뿐만 아니라, 관심 지점에서의 종합적인 고조파 기여도 상황을 판별할 수 있게 해 준다.

[0049] 도 3은 본 발명에 따른 고조파 기여도 평가 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도이고 도 4는 도 3의 고조파 기여도 평가 방법의 구체적인 구성을 보여주는 도면이다.

[0050] 도 4의 단계 1에서는 PCC에서 측정 에러를 고려한 전압(V(t)) 및 개별 선로의 전류(I(t)) 데이터를 취득하고(S110), 단계 2에서는 취득한 데이터를 이용한 데이터 처리 과정을 거쳐(S120, S130, S140), 단계 3에서 최종적으로 종합 고조파 기여도를 계산하여(S150), 단계 4에서 계산된 결과를 출력한다.

[0051] 도 1에서와 같이 PCC에 연계된 일반적인 배전 계통을 고려하면, 단계 1에서는 PCC에서 취득한 데이터를 다양한 고조파 성분과 측정 에러가 포함된 순시치(V(t), I(t)) 값으로 복소수 혹은 페이서 형태로 표현한다(S110).

[0052] 단계 2에서는 단계 1에서 취득한 데이터를 입력 값으로 이용하여 종합 고조파 기여도($THC_{I,k}$, $THC_{V,k}$)를 계산하기 위한 변수($E_{h,0}$, $Z_{h,0}$, $V_{h,k}$, $Z_{h,k}$)들을 결과값으로 추정한다.

[0053] 우선 취득한 데이터로부터 개별 고조파 성분의 크기와 위상값을 포함하는 페이서 정보를 정확히 분해하기 위해 기본 주파수(f_1)를 먼저 추정한다(S120). 기본 주파수를 추정하기 위해, 본 발명에서는 Phase-Locked Loop(PLL) 방법을 이용하였다.

[0054] 다음에 기본 주파수의 정수배에 해당하는 고조파 페이서 성분을 추정하기 위해 보편적으로 사용되는 Fourier transform 방식을 사용하지 않고, 실제 현장에서 검출되는 측정 에러와 기본 고조파의 정수배가 아닌 중간 고조파(interharmonics)를 포함하여 고려할 수 있는 칼만 필터(Kalman filter)를 활용하여 고조파별 페이서 성분($V_{h,pcc}$, $I_{h,k}$)을 추정한다(S130).

[0055] 추정된 고조파 페이서 성분들로부터 빠르고 정확한 변수 추정을 위해 가변 가능한 forgetting factor를 갖는

Recursive Least Square(RLS) 알고리즘을 이용하여 전원측과 수용가측의 테브닌 등가 모델 파라미터인 전압원 ($E_{h,0}, V_{h,k}$)과 임피던스($Z_{h,0}, Z_{h,k}$) 성분을 추정한다(S140).

[0056] 도 1로부터 변환된 테브닌 등가 회로는 도 5와 같다. 도 5는 도 1에 대한 테브닌 등가 회로도이다.

[0057] 만일 추정된 수용가측 테브닌 등가 모델이 변하지 않은 상황에서 전원측 테브닌 등가 임피던스만 변동할 경우에, 수용가측이 야기하는 고조파 기여 정도는 수용가측이 원인 제공을 하지 않았음에도 저감되거나 증가될 수 있다. 따라서, 전원측 테브닌 등가 임피던스 변동을 그대로 단계 3에서 사용한다면 공정한 기여 정도가 평가될 수 없다.

[0058] 이 경우에, 전원측 테브닌 등가 임피던스 변동성이 수용가측의 고조파 기여 정도를 평가하는데 영향을 미치지 않도록 도 6에서와 같이 전원측 테브닌 등가 회로 변경을 통해 변동전 전원측 테브닌 등가 임피던스를 그대로 사용한다. 도 6은 전원측 임피던스 성분 변동시 수정된 전원측 등가회로도이다.

[0059] 여기서 전원측 테브닌 등가 임피던스 변동분(Z_{delta})은 아래의 수식식에 의해 전원측 테브닌 등가 전원에 반영된다. $Z_{h,T}$ 는 전원측 총 임피던스의 합으로 일반적으로 변압기 임피던스와 선로 임피던스의 합으로 계산되며, 주어진 계통 상황에 따라 이미 알고 있는 값으로 가정한다.

[0060]
$$E_{h,0_new} = V_{h,pcc} + I_{h,0}(Z_{h,0} + Z_{h,T})$$

[0061] 단계 3에서는 단계 2에서 추정된 전원측 및 개별 수용가들에 대한 고조파별 테브닌 등가 모델 파라미터 ($E_{h,0}, Z_{h,0}, V_{h,k}, Z_{h,k}$)들을 가지고 전압, 전류에 대한 개별 고조파 기여도($IHCI_{h,k}, IHVI_{h,k}$)를 계산한다(S150).

[0062] 중첩의 원리에 따라 PCC에 연결된 전원측 및 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전류 기여도는 다음 수식과 같다. 여기서, h는 단계 2에서 추정된 기본 주파수의 정수배인 개별 고조파 차수를 의미하고 수용가 k는 도 1에서 PCC에 연결된 1~n개의 개별 선로에 해당한다. (k=1~n: 수용가, k=0: 전원측 의미)

[0063]
$$IHCI_{h,k} = \left| \frac{V_{h,k}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \right| / |I_{1,k}|$$

[0064]
$$IHCI_{h,0} = \left| \frac{E_{h,0}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \right| / |I_{1,0}|$$

[0065]
$$IHVI_{h,k} = \left| \frac{Z_{h,k,shunt}}{Z_{h,k} + Z_{h,k,shunt}} \times V_{h,k} \right| / |V_{1,pcc}|$$

[0066]
$$IHVI_{h,0} = \left| \frac{Z_{h,0,shunt}}{Z_{h,0} + Z_{h,T} + Z_{h,0,shunt}} \times E_{h,0} \right| / |V_{1,pcc}|$$

[0067]
$$Z_{h,k,shunt} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{h,0} + Z_{h,T}} + \sum_{j=1, j \neq k}^n \frac{1}{Z_{h,j}}}$$

[0068]
$$Z_{h,0,shunt} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{Z_{h,j}}}$$

[0069] 이 결과들로부터 PCC에 연결된 전원측 및 수용가 k의 종합 고조파 전류 기여도($THC_{I,k}$)와 종합 고조파 전압 기여도($THC_{V,k}$)는 다음 수식과 같다. ($k=1\sim n$: 수용가, $k=0$: 전원측 의미)

$$[0070] \quad THC_{I,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHC_{I,h,k}|^2}$$

$$[0071] \quad THC_{V,k} = \sqrt{\sum_{h=2}^n |IHC_{V,h,k}|^2}$$

[0072] 여기서, 종합 고조파 기여도는 PCC에 연결된 전원측과 개별 수용가가 유발하는 고조파 전류와 전압의 총체적인 기여도를 의미하며, 전원측과 개별 수용가들간에 종합 고조파 기여도의 상대적인 비교가 가능하여 기여도 값이 클수록 고조파를 유발하는 정도가 크다고 직관인 해석이 가능하다. 발명된 새로운 지수인 종합 고조파 기여도는 기존에 소개되지 않은 가장 차별되는 부분이다.

[0073] 마지막으로 단계 4에서는 최종 계산된 개별 및 종합 고조파 기여도를 출력하여 보여준다.

[0074] <변수 정의>

[0075] f_1 : 기본 주파수

[0076] $V(t)$: 시간 t에서 측정된 전압 순시치

[0077] $I(t)$: 시간 t에서 측정된 전류 순시치

[0078] E_{Thev} : 전원측 테브닌 등가 전압 페이서

[0079] Z_{Thev} : 전원측 테브닌 등가 임피던스

[0080] Z_{delta} : 전원측 테브닌 등가 임피던스 변동분

[0081] $Z_{h,T}$: 전원측 총 임피던스의 합

[0082] $I_{h,0}$: 고조파 h에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류 페이서

[0083] $|I_{1,0}|$: 기본 주파수에 대하여 전원측 선로에서 측정된 전류의 크기

[0084] $I_{h,k}$: 고조파 h에 대하여 PCC에 연결된 k 선로에서 측정된 전류 페이서

[0085] $|I_{1,k}|$: 기본 주파수에 대하여 PCC에 연결된 k 선로에서 측정된 전류의 크기

[0086] $V_{h,pcc}$: 고조파 h에 대하여 PCC에서 측정된 전압 페이서

[0087] $|V_{1,pcc}|$: 기본 주파수에 대하여 PCC에서 측정된 전압의 크기

[0088] $E_{h,0}$: 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 전압 페이서

- [0089] $Z_{h,0}$: 고조파 h에 대하여 전원측 테브닌 등가 임피던스
- [0090] $V_{h,k}$: 고조파 h에 대하여 PCC에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 전압 페이지
- [0091] $Z_{h,k}$: 고조파 h에 대하여 PCC에 연결된 수용가 k에 대한 테브닌 등가 임피던스
- [0092] $Z_{h,k,shunt}$: 고조파 h에 대하여 PCC에 연결된 수용가 k에서 바라본 등가 임피던스
- [0093] $Z_{h,0,shunt}$: 고조파 h에 대하여 PCC에 연결된 전원측에서 바라본 등가 임피던스
- [0094] $IHCI_{h,k}$: PCC에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전류 기여도
- [0095] $IHVI_{h,k}$: PCC에 연결된 수용가 k의 개별 고조파 h에 대한 전압 기여도
- [0096] THC_{kk} : PCC에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전류 기여도
- [0097] $THC_{V,k}$: PCC에 연결된 수용가 k의 종합 고조파 전압 기여도
- [0098] 도 7은 PCC에 연결된 전력 공급원 측과 두 개의 수용가를 포함하는 배전 시스템 예의 개략적인 도면이다.
- [0099] 도 7에서와 같이, PCC에 연결된 수용가가 2개인 배전 계통을 대상으로 PCC에서 측정된 전압, 전류 데이터를 이용하여 본 발명을 통해 계산된 수용가별 개별 고조파 전압 기여도(IHVI) 값이 도 8과 같다고 가정한다.
- [0100] 도 8은 도 7의 전원측 및 개별 수용가별 IHVI 계산 결과를 도시한 그래프이다.
- [0101] 도 8에서, 5차 고조파의 경우 수용가 1의 5차 고조파 전압 기여도는 기본 주파수 성분의 크기 대비 2.3%의 값을 가지고 수용가 2는 0.3%의 값을 갖는다. 개별 고조파 기여도는 개별 고조파 차수 별로 수용가가 기여하는 정도를 판별할 수 있으며, 고조파 차수별로 상대적인 비교가 가능하다.
- [0102] 또한, 도 8에서 5차 고조파에 대한 수용가 1의 IHVI의 크기는 2.3%이고 11차 고조파에 대한 수용가 2의 IHVI는 1.7%의 값을 갖는다. IHVI 값을 통해 5차 고조파 전압의 경우에는 수용가 1의 기여 정도가 크고, 11차 고조파의 경우에 수용가 2의 기여 정도가 크다는 정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 5차 고조파 전압에 대한 수용가 1의 기여 정도는 11차 고조파 전압에 대한 수용가 2의 기여정도보다 크다는 직접 비교가 가능하다.
- [0103] 이 결과를 이용하여 고조파 차수별로 기여 정도에 따라 페널티를 적용한다면, 5차 고조파에 대해 수용가 1이 적용받는 페널티 정도가 7차 고조파에 대해 수용가 2가 적용받는 페널티 정도에 비해 크게 적용될 수 있는 기준이 될 수 있다.
- [0104] 또한, 도 7 및 도 8과 같은 예시의 경우에 본 발명을 통해 계산된 수용가 1의 종합 고조파 전압 기여도는 3.55%, 수용가 2는 2.87%를 가지며, 이 결과는 PCC의 왜곡된 전압에 대하여 수용가 1의 고조파 기여가 종합적으로 더 크다고 직관적으로 판단할 수 있다.
- [0105] 마찬가지로 전류에 대해서도 동일한 방법으로 적용 가능하며, 다수의 수용가가 존재할 경우에도 종합 고조파 기여도 크기에 따라 기여 정도를 판단할 수 있다.
- [0106] 본 발명에 의하면, 전력계통에서 고조파로 인한 책임소재 분쟁 발생시 고조파 발생 기여도를 정확하게 판별하여 기여 정도에 따른 정량적인 평가가 가능하다. 또한, 수용가에 부여된 고조파 왜곡에 대한 기여 정도를 전력 공급자 측의 원인 제공에 의한 기여 정도와 분리하여 공정한 평가가 가능하다. 또한, 본 발명은 개별 수용가가 유발하는 고조파 기여 정도에 대한 종합적이고 직관적인 평가가 가능한 지수를 제공한다.
- [0107] 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되

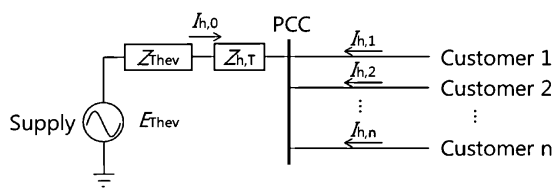
고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야할 것이다.

부호의 설명

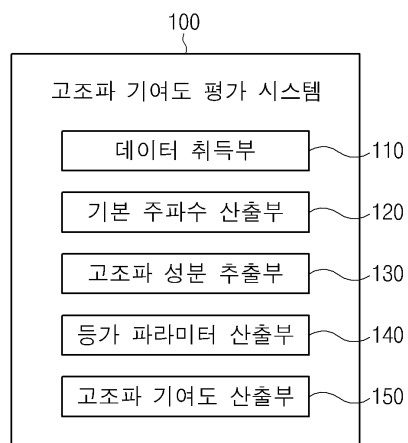
- [0108]
- 100: 고조파 기여도 평가 시스템
 - 110: 데이터 취득부
 - 120: 기본 주파수 산출부
 - 130: 고조파 성분 추출부
 - 140: 등가 파라미터 산출부
 - 150: 고조파 기여도 산출부

도면

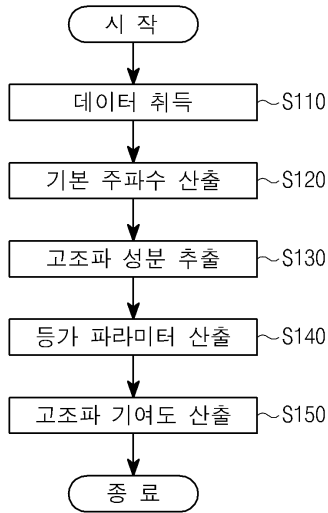
도면1



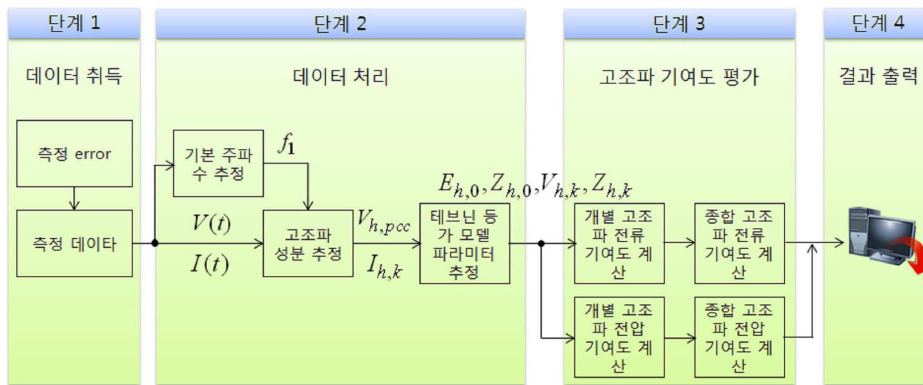
도면2



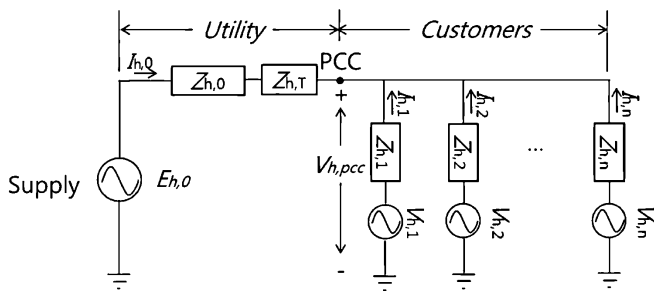
도면3



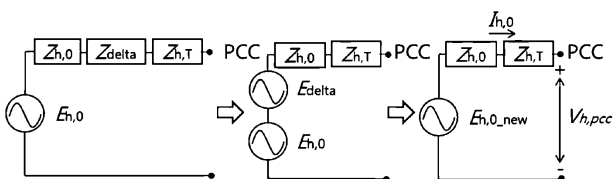
도면4



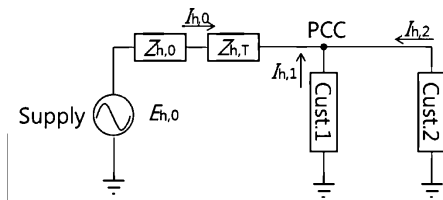
도면5



도면6



도면7



도면8

