



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년01월16일  
(11) 등록번호 10-1352204  
(24) 등록일자 2014년01월09일

- |  |  |
|--|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br>G01R 29/16 (2006.01) G01R 31/08 (2006.01)<br>(21) 출원번호 10-2012-0073264<br>(22) 출원일자 2012년07월05일<br>심사청구일자 2012년07월05일<br>(56) 선행기술조사문헌<br>KR1020110115945 A<br>KR1020080074441 A<br>KR1020100133571 A | (73) 특허권자<br>성균관대학교산학협력단<br>경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 성균관대학교<br>내 (천천동)<br>(72) 발명자<br>김철환<br>서울특별시 강남구 삼성로64길 5, 104동 1601호(대치동, 대치현대아파트)<br>서훈철<br>경상북도 포항시 북구 죽도로20번길 35, 나동 405호(죽도동, 로얄하이츠)<br>이순정<br>강원도 춘천시 동내면 춘천순환로 93 성우오스타 105동 1403호(현대성우오스타)<br>(74) 대리인<br>김인철 |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 17 항

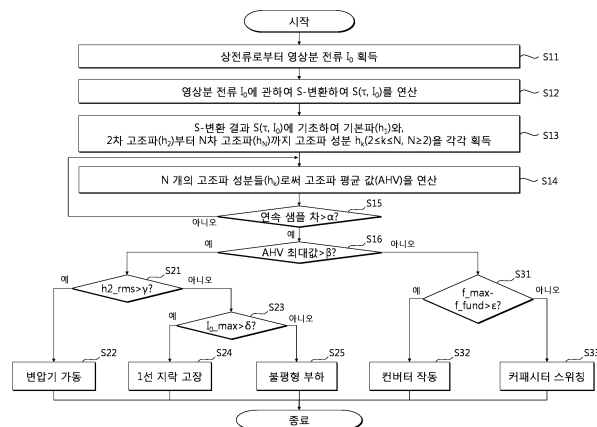
심사관 : 김성훈

(54) 발명의 명칭 배전 계통에서 발생하는 전력 품질 외란의 원인 판별 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 실시예들에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 방법은 3상 선로의 단상 전류들로부터 얻은 영상분 전류  $I_0$ 에 관하여 S-변환한  $S(\tau, I_0)$ 를 연산하는 단계, 영상분 전류  $I_0$ 의 S-변환 결과  $S(\tau, I_0)$ 에 기초하여 기본파( $h_1$ )와, 2차 고조파( $h_2$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지 고조파 성분  $h_k(2 \leq k \leq N, N \geq 2)$ 을 각각 획득하는 단계, 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )로부터 고조파 평균 값(AHV, Average of Harmonics Value)을 연산하는 단계 및 고조파 평균 값(AHV)의 통계적 특성에 따라, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하거나 또는 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

3상 선로의 단상 전류들로부터 얻은 영상분 전류  $I_0$ 에 관하여 S-변환한  $S(\tau, I_0)$ 를 연산하는 단계;

영상분 전류  $I_0$ 의 S-변환 결과  $S(\tau, I_0)$ 에 기초하여 기본파( $h_1$ )와, 2차 고조파( $h_2$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지 고조파 성분  $h_k(2 \leq k \leq N, N \geq 2)$ 을 각각 획득하는 단계;

상기 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )로부터 고조파 평균 값(AHV, Average of Harmonics Value)을 연산하는 단계; 및

고조파 평균 값(AHV)의 통계적 특성에 따라, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하거나 또는 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계를 포함하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

고조파 평균 값(AHV)의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이를 제1 문턱값  $\alpha$ 에 비교하는 단계를 더 포함하며,

상기 고조파 평균 값(AHV)의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이가 상기 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 더 클 경우에만 상기 외란의 원인을 판별하는 단계로 진행하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서, 상기 고조파 평균 값(AHV)의 통계적 특성에 따라, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하거나 또는 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계는,

상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계; 및

상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 4**

청구항 3에 있어서, 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계는,

상기 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )를 제3 문턱값  $\gamma$ 에 비교하는 단계;

만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하는 단계; 및

만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면, 1선 지락 고장 또는 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서, 상기 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면, 1선 지락 고장 또는 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계는,

영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )을 제4 문턱값  $\delta$ 에 비교하는 단계; 및

만약 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )이 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 6**

청구항 3에 있어서, 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계는,

S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이를 제5 문턱값  $\epsilon$ 에 비교하는 단계; 및

만약 S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이가 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 7**

3상 선로의 단상 전류들로부터 얻은 영상분 전류  $I_0$ 에 관하여 S-변환한  $S(\tau, I_0)$ 를 연산하는 단계;

영상분 전류  $I_0$ 의 S-변환 결과  $S(\tau, I_0)$ 에 기초하여 기본파( $h_1$ )와, 2차 고조파( $h_2$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지 고조파 성분  $h_k(2 \leq k \leq N, N \geq 2)$ 을 각각 획득하는 단계;

상기 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )로부터 고조파 평균 값(AHV)을 연산하는 단계;

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하는 단계;

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하는 단계;

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하는 단계;

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면, 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하는 단계; 및

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하는 단계를 포함하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 8**

청구항 1 내지 청구항 7 중의 어느 한 청구항에 있어서,  $N = 7$ 인 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란의 원인 판별 방법.

**청구항 9**

3상 선로의 각각에서 상전류의 위상과 크기를 검출하는 전류 센서;

검출된 상전류( $I_a, I_b, I_c$ )로부터 영상분 전류  $I_0$ 를 획득하고, 영상분 전류  $I_0$ 에 대해 S-변환을 수행하여 영상분 전류( $I_0$ )의 S-변환  $S(\tau, I_0)$  값을 출력하고, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 고조파 성분( $h_2$  내지  $h_N$ )들을 기초로 기

본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )의 평균값(AHV)과 2차 고조파 성분의 실효치( $h_{2\_rms}$ )를 연산하여 출력하며, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ ), 기본 주파수와 최대 주파수의 차이값( $f\_fund-f\_max$ )을 산출하는 파라미터 연산부; 및

N개 고조파 성분들의 평균값(AHV), 2차 고조파 성분의 실효치( $h_{2\_rms}$ ), 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ ), 기본 주파수와 최대 주파수의 차이값( $f\_fund-f\_max$ )을 기초로, 각각 외란의 원인을 변압기 가동, 1선 지락 고장, 불평형 부하, 컨버터 작동, 커패시터 스위칭 중 적어도 하나로 판별하는 판별 로직부를 포함하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 10**

청구항 9에 있어서, 상기 판별 로직부는

상기 고조파 평균 값(AHV)의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이가 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 더 클 경우에만 상기 외란의 원인을 판별하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 11**

청구항 9에 있어서, 상기 판별 로직부는

상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하고,

상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서, 상기 판별 로직부는

상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 클 경우에, 상기 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )를 제3 문턱값  $\gamma$ 에 추가로 비교하고,

만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하고, 그렇지 않으면 1선 지락 고장 또는 불평등 부하 중의 하나로 판별하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 13**

청구항 12에 있어서, 상기 판별 로직부는

만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면, 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )을 제4 문턱값  $\delta$ 에 추가로 비교하고,

만약 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )이 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 14**

청구항 11에 있어서, 상기 판별 로직부는

고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f\_max$ )와 기본 주파수( $f\_fund$ )의 차이를 제5 문턱값  $\epsilon$ 에 추가로 비교하고,

만약 S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f\_max$ )와 기본 주파수( $f\_fund$ )의 차이가 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 15**

청구항 9에 있어서, 상기 판별 로직부는,

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하고,

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하며,

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하고,

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\varepsilon$ 보다 크면, 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하며,

만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\varepsilon$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 16**

청구항 9 내지 청구항 15 중의 어느 한 청구항에 있어서,  $N = 7$ 인 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**청구항 17**

청구항 15에 있어서,

상기 파라미터 연산부에서 연산되는 파라미터들의 분포에 기초하여 제2 문턱값  $\beta$ , 제3 문턱값  $\gamma$ , 제4 문턱값  $\delta$ , 제5 문턱값  $\varepsilon$  중 적어도 하나를 적응적으로 설정하는 문턱값 설정부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력 품질 외란 원인 판별 장치.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 전력 품질 외란 판별 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, S-변환에 기초한 전력 품질 외란의 원인 판별 기술에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 전력 품질은 전력 공급자 측면에서는 안정적인 전압 또는 전류 공급과 같이 전력 공급의 신뢰도를 의미하고, 수용가의 측면에서는 전기 설비에 공급되는 전력의 상태를 가리킨다. 전력 품질이 좋지 않으면 전기 설비나 장비가 고장을 일으킬 수 있고, 오늘날의 산업 구조에서 전력 품질 관리의 실패는 단순한 설비나 장비의 고장을 넘어 엄청난 2차적 피해를 야기할 수 있다.

[0003] 전력 계통에 고장이 발생할 경우에, 만약 고장의 종류와 원인을 판별할 수 있다면 문제가 일어난 위치를 파악하고 문제를 제거하기 쉬워지므로 많은 비용과 노력을 절감할 수 있다.

[0004] 전력 품질을 유지하기 위해서는 먼저 전력 품질이 어떠한 상태인지 판별할 필요가 있고, 만약 외란이 있는 것으로 판별될 경우에는, 그 원인이 무엇인지 판별하여야 한다. 원인이 신속하게 판별되어야 비정상 상태에서부터 전력 계통을 복구하고 이후에 적절한 보호를 위해 계전기나 차단기 정격을 결정할 수 있다.

[0005] 전력 품질 판별을 위해서 주파수 영역에서 파형을 분석하는 몇 가지 방법이 제안되어 왔다. 대표적으로

STFT(Short Time Fourier Transform) 기법, 웨이블릿 변환 기법, S-변환 기법 등이 있다.

- [0006] STFT 기법은 전력 신호를 푸리에 변환하고 예를 들어 IEEE 1159에서 제시한 전력 품질 분류에 기초하여 외란 존재 여부를 판별한다. 비연속적으로 푸리에 변환하기 때문에, 변환 윈도우 주기에 맞춰 과도 현상 발생 시에는 감지 능력이 떨어지고 성능이 좋지 않다.
- [0007] 웨이블릿 변환 기법은 전력 신호를 시간 영역과 주파수 영역으로 연속적으로 관찰하기 때문에 STFT 기법보다 성능이 좋지만 연산량이 많고 잡음이 많으면 정확성이 떨어진다.
- [0008] S-변환 기법은 웨이블릿 변환 개념을 확장하면서 STFT의 윈도우 개념을 결합하여 연산량은 적고 판별 성능은 양호하다.
- [0009] 문제는 이렇게 전력 품질을 측정할 수는 있었지만 외란의 원인은 쉽게 알 수 없다는 것이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 S-변환을 기초로 배전 계통에서 발생하는 전력 품질 외란의 원인 판별 장치 및 방법을 제공하는 데에 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0011] 본 발명의 일 측면에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 방법은,
- [0012] 3상 선로의 단상 전류들로부터 얻은 영상분 전류  $I_0$ 에 관하여 S-변환한  $S(\tau, I_0)$ 를 연산하는 단계;
- [0013] 영상분 전류  $I_0$ 의 S-변환 결과  $S(\tau, I_0)$ 에 기초하여 기본파( $h_1$ )와, 2차 고조파( $h_2$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지 고조파 성분  $h_k(2 \leq k \leq N, N \geq 2)$ 을 각각 획득하는 단계;
- [0014] 상기 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )로부터 고조파 평균 값(AHV, Average of Harmonics Value)을 연산하는 단계; 및
- [0015] 고조파 평균 값(AHV)의 통계적 특성에 따라, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하거나 또는 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 있어서, 상기 전력 품질 외란의 원인 판별 방법은,
- [0017] 고조파 평균 값(AHV)의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이를 제1 문턱값  $\alpha$ 에 비교하는 단계를 더 포함하며,
- [0018] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이가 상기 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 더 클 경우에만 상기 외란의 원인을 판별하는 단계로 진행할 수 있다.
- [0019] 일 실시예에 있어서, 상기 고조파 평균 값(AHV)의 통계적 특성에 따라, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하거나 또는 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계는,
- [0020] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계; 및
- [0021] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 있어서, 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계는,
- [0023] 상기 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )를 제3 문턱값  $\gamma$ 에 비교하는 단계;
- [0024] 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하는 단계; 및

- [0025] 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면, 1선 지락 고장 또는 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 일 실시예에 있어서, 상기 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_{2\_rms}$ )가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면, 1선 지락 고장 또는 불평등 부하 중의 하나로 판별하는 단계는,
- [0027] 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )을 제4 문턱값  $\delta$ 에 비교하는 단계; 및
- [0028] 만약 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )이 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0029] 일 실시예에 있어서, 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하는 단계는,
- [0030] S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이를 제5 문턱값  $\epsilon$ 에 비교하는 단계; 및
- [0031] 만약 S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이가 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0032] 본 발명의 다른 측면에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 방법은,
- [0033] 3상 선로의 단상 전류들로부터 얻은 영상분 전류  $I_0$ 에 관하여 S-변환한  $S(\tau, I_0)$ 를 연산하는 단계;
- [0034] 영상분 전류  $I_0$ 의 S-변환 결과  $S(\tau, I_0)$ 에 기초하여 기본파( $h_1$ )와, 2차 고조파( $h_2$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지 고조파 성분  $h_k(2 \leq k \leq N, N \geq 2)$ 을 각각 획득하는 단계;
- [0035] 상기 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )로부터 고조파 평균 값(AHV)을 연산하는 단계;
- [0036] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하는 단계;
- [0037] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하는 단계;
- [0038] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하는 단계;
- [0039] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면, 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하는 단계; 및
- [0040] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0041] 일 실시예에 있어서,  $N = 7$ 일 수 있다.
- [0042] 본 발명의 또 다른 측면에 따른 전력 품질 외란 원인 판별 장치는,
- [0043] 3상 선로의 각각에서 상전류의 위상과 크기를 검출하는 전류 센서;
- [0044] 검출된 상전류( $I_a, I_b, I_c$ )로부터 영상분 전류  $I_0$ 를 획득하고, 영상분 전류  $I_0$ 에 대해 S-변환을 수행하여 영상분

전류( $I_0$ )의 S-변환  $S(\tau, I_0)$  값을 출력하고, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 고조파 성분( $h_2$  내지  $h_N$ )들을 기초로 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )의 평균값(AHV)과 2차 고조파 성분의 실효치( $h_2$ \_rms)를 연산하여 출력하며, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ ), 기본 주파수와 최대 주파수의 차이값( $f\_fund-f\_max$ )을 산출하는 파라미터 연산부; 및

- [0045] N개 고조파 성분들의 평균값(AHV), 2차 고조파 성분의 실효치( $h_2$ \_rms), 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ ), 기본 주파수와 최대 주파수의 차이값( $f\_fund-f\_max$ )을 기초로, 각각 외란의 원인을 변압기 가동, 1선 지락 고장, 불평형 부하, 컨버터 작동, 커패시터 스위칭 중 적어도 하나로 판별하는 판별 로직부를 포함할 수 있다.
- [0046] 일 실시예에 있어서, 상기 판별 로직부는
- [0047] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이가 상기 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 더 클 경우에만 상기 외란의 원인을 판별하도록 동작할 수 있다.
- [0048] 일 실시예에 있어서, 상기 판별 로직부는
- [0049] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하고,
- [0050] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별하도록 동작할 수 있다.
- [0051] 일 실시예에 있어서, 상기 판별 로직부는
- [0052] 상기 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 클 경우에, 상기 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_2$ \_rms)를 제3 문턱값  $\gamma$ 에 추가로 비교하고,
- [0053] 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_2$ \_rms)가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하고, 그렇지 않으면 1선 지락 고장 또는 불평등 부하 중의 하나로 판별하도록 동작할 수 있다.
- [0054] 일 실시예에 있어서, 상기 판별 로직부는
- [0055] 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파( $h_2$ )의 실효치( $h_2$ \_rms)가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면, 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )을 제4 문턱값  $\delta$ 에 추가로 비교하고,
- [0056] 만약 영상분 전류( $I_0$ ) 크기의 최대값( $I_{0\_max}$ )이 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하도록 동작할 수 있다.
- [0057] 일 실시예에 있어서, 상기 판별 로직부는
- [0058] 고조파 평균 값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작으면, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f\_max$ )와 기본 주파수( $f\_fund$ )의 차이를 제5 문턱값  $\epsilon$ 에 추가로 비교하고,
- [0059] 만약 S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f\_max$ )와 기본 주파수( $f\_fund$ )의 차이가 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하도록 동작할 수 있다.
- [0060] 일 실시예에 있어서, 상기 판별 로직부는,
- [0061] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하고,
- [0062] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하며,
- [0063] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차



고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 불평형 부하로 판별하고,

[0064] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\varepsilon$ 보다 크면, 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하며,

[0065] 만약 S-변환된 영상분 전류의 N차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\varepsilon$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별하도록 동작할 수 있다.

[0066] 일 실시예에 있어서,  $N = 7$ 일 수 있다.

[0067] 일 실시예에 있어서, 상기 전력 품질 외란의 원인 판별 장치는

[0068] 상기 파라미터 연산부에서 연산되는 파라미터들의 분포에 기초하여 상기 제1 문턱값  $\alpha$ , 제2 문턱값  $\beta$ , 제3 문턱값  $\gamma$ , 제4 문턱값  $\delta$ , 제5 문턱값  $\varepsilon$  중 적어도 하나를 적응적으로 설정하는 문턱값 설정부를 더 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0069] 본 발명의 전력 품질 외란의 원인 판별 장치 및 방법에 따르면, 연산량이 상대적으로 적고 판별 성능은 상대적으로 양호한 S-변환을 기초로 전력 품질의 외란을 판별할 수 있다.

[0070] 본 발명의 전력 품질 외란의 원인 판별 장치 및 방법에 따르면, 외란을 특정하는 몇몇 파라미터들의 단순한 크기 비교를 통해 외란의 원인을 판별할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0071] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 방법을 예시한 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 IEEE 13 노드 테스트 피더 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 예시적인 파형도들이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 IEEE 13 노드 테스트 피더 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류에 대해 S-변환을 한 예시적인 파형도들이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 7차 고조파 평균 값(AHV\_7)들의 예시적인 파형도들이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 7차 고조파 평균값(AHV\_7)의 최대값들을 비교한 예시적인 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 2차 고조파 실효값을 비교한 예시적인 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 최대값을 비교한 예시적인 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이값을 비교한 예시적인 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 장치를 예시한 블록도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0072] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

[0073] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동

일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.

- [0074] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 방법을 예시한 순서도이다.
- [0075] 전력 품질 외란을 일으키는 가장 빈번한 원인 이벤트는 배전 선로에서 1선 지락 고장(single-line-to-ground fault) 즉 3상 선로 중 하나가 접지에 단락되는 것이고, 다음으로 불평형 부하(unbalanced load), 변압기의 가동(operation transformer), 컨버터의 작동(operation of converter) 및 커패시터 스위칭(capacitor switching)이 주요한 원인 이벤트들이다. 이러한 다섯 가지 원인만 판별하여도 외란의 원인을 대부분 식별할 수 있다.
- [0076] 여기서 외란 원인에 따른 영향을 알아보기 위하여 도 2를 참조하면, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 IEEE 13 노드 테스트 피더 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 예시적인 파형도들이다.
- [0077] 도 2에서, 위부터 1선 지락 고장, 커패시터 스위칭, 변압기 작동, 컨버터 작동, 불평형 부하에 따른 영상분 전류의 파형이 각각 예시되어 있다. 각 파형은 외란이 시각적으로 잘 표현될 수 있도록 각자 다른 스케일로 모의되었음에 유의한다.
- [0078] 통상적으로 외란이 전혀 없는 3상 평형 회로에서 3상 전류의 합( $I_a+I_b+I_c$ )인 영상분 전류( $I_0$ )의 크기는 0이어야 한다. 3상 불평형 회로에서 외란이 일어난 경우에 영상분 전류는 0이 되지 않기 때문에 영상분 전류를 기초로 외란의 발생 여부를 짐작할 수 있는데, 발명자는 여기서 더 나아가, 영상분 전류의 파형을 분석함으로써 외란의 원인을 판별하는 방법을 착안한 것이다.
- [0079] 도 2에서, 1선 지락 고장으로 인한 외란의 경우, 고장 발생각은  $0^\circ$  이고 고장 저항은  $1\Omega$ 으로 설정하여 모의한 것으로, 고장이 발생하자 영상분 전류의 크기가 급격히 증가하는 모습을 보인다.
- [0080] 커패시터 스위칭으로 인한 외란의 경우, 용량이  $9.2\mu F$ 이었을 때에 스위칭이 일어나자 짧은 시간 동안 고조파가 심하게 발생하는 모습을 보인다.
- [0081] 변압기의 작동으로 변압기의 코일이 여자됨에 따른 외란의 경우, 투입 위상각은  $0^\circ$  로 설정되었는데, 전류의 파형이 주기적으로 변화하는 모습이며 이는 여자 돌입 전류의 전형적인 특징이라고 할 수 있다.
- [0082] 컨버터의 작동으로 인한 외란의 경우, 용량  $300\text{ kW}$ ,  $6\text{ pulse/cycle}$  방식의 컨버터를 모델링하였는데, 고조파와 주기적인 임펄스 형태의 왜곡 파형이 나타났다.
- [0083] 불평형 부하로 인한 외란의 경우, 불평형률을 30%로 하여 모의하였고, 정상 상태에 비해 불평형 부하 투입후 전류 값의 증가가 확인된다.
- [0084] 한편, 도 2의 모의 파형들을 각각 S-변환한 모습을 알기 위하여 도 3을 참조하면, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 IEEE 13 노드 테스트 피더 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류에 대해 S-변환을 한 예시적인 파형도들이다.
- [0085] 도 3에서, 다섯 가지 외란의 경우에, 외란의 발생 직후와 그 이후에 S-변환된 파형이 외란 발생 이전에 비해, 정도의 차이는 있지만, 구분 가능한 수준의 차이를 보임을 알 수 있다.
- [0086] 다시 도 1로 돌아와서, 본 발명의 실시예들에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 방법은, 먼저 단계(S11)에서 수학적 식 1과 같이 영상분 전류( $I_0$ )를 구하는 단계로부터 시작한다.

**수학적 식 1**

$$I_0 = (I_a + I_b + I_c)/3$$

[0087]

이때,  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ 는 3상 전류를 구성하는 각각의 단상 전류의 시간에 따른 이산 샘플링 열들(time series)이다.

[0088]

단계(S12)에서, 영상분 전류  $I_0$ 에 관하여 S-변환한  $S(\tau, I_0)$ 를 연산한다.

[0089]

[0090] S-변환을 간략히 소개하면, 가우시안 함수인 윈도우(Gaussian window)를 가지고 연속적인 웨이블릿 변환을 위상 교정한 것으로 이해될 수 있다.

[0091] Stockwell, RG, L Mansinha, and RP Lowe (1996). Localization of the complex spectrum: the S transform, IEEE Transactions on Signal Processing 44 (4), p 998-1001에 따르면, 함수  $h(t)$ 의 S-변환  $S(\tau, f)$ 은 다음 수학적 식 2와 같이 정의된다.

**수학적 식 2**

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau-t)^2 f^2}{2}} e^{-i2\pi ft} dt$$

[0092]

[0093] 단계(S13)에서, 영상분 전류  $I_0$ 의 S-변환 결과  $S(\tau, I_0)$ 에 기초하여 기본파( $h_1$ )와, 2차 고조파( $h_2$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지 고조파 성분  $h_k(2 \leq k \leq N, N \geq 2)$ 을 각각 획득한다.

[0094] 이때, N의 값은 연산량과 정확도 측면에서 트레이드오프 관계를 나타내기 때문에, 연산 자원의 성능에 따라 적절하게 선택될 수 있으며 바람직하게는  $N = 7$ 로 선택될 수 있다.

[0095] 단계(S14)에서, 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )로써 다음 수학적 식 3과 같이 고조파 평균 값(AHV, Average of Harmonics Value)을 연산한다.

**수학적 식 3**

$$AHV = \left( \sum_{k=1}^N h_k \right) / N$$

[0096]

[0097] 단계(S15)에서, 고조파 평균 값의 연속하는 두 샘플의 크기의 차이( $AHV[t] - AHV[t-1]$ )를 소정의 제1 문턱값  $\alpha$ 에 비교한다.

[0098] 만약 샘플 차이가 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 클 경우에는 t번째 샘플  $AHV[t]$ 에 대해 다음의 외란 원인 판별 절차를 수행하고, 그렇지 않으면 외란 원인 판별을 하지 않고 단계(S14)로 돌아가 다음 샘플의 고조파 평균 값을 연산한다.

[0099] 제1 문턱값  $\alpha$ 는 바람직하게는  $1 \times 10^{-6}$ 이다. 제1 문턱값  $\alpha$ 는 예시적인 수치로서, 실제로 수집된 데이터에 따라 적절하게 선택할 수 있다.

[0100] 실시예에 따라 단계(S15)는 선택적인 단계일 수 있다.

[0101] 단계(S15)의 타당성을 설명하기 위해 잠시 도 4를 참조하면, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 평균 값( $AHV_7$ )의 예시적인 파형도들이다.

[0102] 도 4에서, S-변환된 영상분 전류  $I_0$ 의 7차까지의 고조파 평균 값  $AHV_7$ 의 파형은 각 외란 원인에 따라 극적으로 차이를 보인다. 가장 큰 크기를 보이는 순서대로, 각각 변압기 가동, 1선 지락 고장, 불평등 부하, 커패시터 스위칭, 컨버터 동작에 따른 고조파 평균 값  $AHV_7$ 의 변화 양상이다.

[0103] 커패시터 스위칭과 컨버터 동작에 따른 AHV의 변화는 도 4에서 시각적으로 잘 식별되지 않으나, 외란 발생 이후에 미소하게 보이더라도 제1 문턱값  $\alpha$ 보다는 큰 값으로 발생한다.

[0104] 단계(S16)에서, 이전의 지정된 시구간 내에서 고조파 평균 값(AHV)의 통계적 특성, 예를 들어 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별할 수 있도록 단계(S21)로 진행하고, 그렇지 않으면 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별할 수 있도록 단계(S31)로 진행한다. 여기서, 제2 문턱값  $\beta$ 는 예시적인 수치로서, 실제로 수집되는 데이터에

따라 적절하게 선택할 수 있으며, 바람직하게는 2로 설정할 수 있다.

- [0105] 위에서 예시한 다섯 가지의 대표적인 외란 원인들 중에 변압기 가동, 1선 지락 및 불평형 부하의 경우에 영상분 전류의 고조파는 상대적으로 크게 발생하며, 영상분 전류의 고조파 평균 값도 상대적으로 크다. 따라서, 그러한 상대적인 크기의 지표로써 예시적으로 AHV의 최대값을 이용할 수 있다.
- [0106] 단계(S16)의 타당성을 설명하기 위해 도 5를 잠시 참조하면, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 7차 고조파 평균값(AHV\_7)의 최대값들을 비교한 예시적인 그래프이다.
- [0107] 도 5에서 각각의 외란 원인별로 특성을 달리 하면서 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파까지의 고조파 평균값(AHV\_7)들의 최대값을 각각 세 개씩, 총 15 개 나열하였다.
- [0108] 고조파 평균값들이 상대적으로 큰 세 외란을 먼저 살펴보면, 1선 지락 고장의 경우 고장 저항이 각각 1Ω, 10Ω, 100Ω일 때, 변압기 가동의 경우 여자 전류의 투입 위상이 각각 0°, 45°, 90° 일 때, 불평등 부하의 불평형률은 각각 10%, 20%, 30%일 때, 소정 시간 동안의 고조파 평균값의 최대값은 최소 2.963부터 최대 128.4까지의 값을 나타내었다.
- [0109] 상대적으로 고조파 평균값이 작았던 나머지 두 외란을 살펴보면, 커패시터 스위칭의 경우 커패시터의 용량이 각각 9.2μF, 46μF, 92μF일 때와 컨버터 작동의 경우 컨버터의 용량이 각각 100kW, 200kW, 300kW일 때에, 소정 시간 동안의 고조파 평균값의 최대값은 최소 0.0279부터 0.6073까지의 크기를 나타내었다.
- [0110] 따라서, 이러한 데이터들을 기초로 고조파 평균값들의 최대값이 예시적으로 2로 설정된 제2 문턱값 β보다 크면, 외란의 원인이 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나이고, 그렇지 않으면 외란의 원인이 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나인 것으로 판별할 수 있다.
- [0111] 먼저 외란의 원인을 1선 지락 고장, 변압기 가동, 불평등 부하 중의 하나로 판별하기 위해서, S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파(h<sub>2</sub>)의 실효치(h<sub>2\_rms</sub>)를 이용하여 외란 원인이 변압기 가동인지 여부를 판별하고, 영상분 전류 크기의 최대값(I<sub>0\_max</sub>)을 이용하여 외란 원인이 1선 지락 고장인지 불평형 부하 중 어떤 것인지 판별할 수 있다.
- [0112] 구체적으로 단계(S21)에서는, S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파(h<sub>2</sub>)의 실효치(h<sub>2\_rms</sub>)를 제3 문턱값 γ에 비교한다.
- [0113] 만약 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파(h<sub>2</sub>)의 실효치(h<sub>2\_rms</sub>)가 제3 문턱값 γ보다 크면, 단계(S22)에서 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별하고, 그렇지 않으면 단계(S23)에서 추가적으로 영상분 전류(I<sub>0</sub>) 크기의 최대값(I<sub>0\_max</sub>)을 제4 문턱값 δ에 비교한다. 여기서, 실제 수집된 데이터에 따라 각각 적절히 결정될 수 있지만 제3 문턱값 γ은 바람직하게는 50으로 선택될 수 있고, 제4 문턱값 δ는 바람직하게는 30으로 선택될 수 있다.
- [0114] 만약 영상분 전류(I<sub>0</sub>) 크기의 최대값(I<sub>0\_max</sub>)이 제4 문턱값 δ보다 크면, 단계(S24)에서 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별하고, 그렇지 않으면 단계(S25)에서 외란의 원인을 불평형 부하로 판별한다.
- [0115] 단계(S21) 내지 단계(S25)의 타당성을 설명하기 위해, 도 6과 도 7을 잠시 살펴보면, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 S-변환된 영상분 전류의 2차 고조파 실효값을 비교한 예시적인 그래프이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 최대값을 비교한 예시적인 그래프이다.
- [0116] 도 6에서, 변압기 가동 시에 여자 돌입 전류는 기본과 다음으로 2차 고조파의 크기가 매우 큰 특성을 보이는데, 그러한 외란이 인가된 영상분 전류에서 2차 고조파의 실효치 크기는 실제 배전 계통 모델에서 약 222 A에 이르는 것으로 나타났고, 반면에 1선 지락 고장이나 불평형 부하의 경우에는 영상분 전류의 2차 고조파의 실효치 크기는 50 A에 못 미친다. 따라서 제3 문턱값 γ을 50으로 설정함으로써 변압기 가동 시의 외란을 판별할 수 있다.
- [0117] 도 7에서는, 1선 지락 고장과 불평형 부하의 경우에, 영상분 전류 크기의 최대값은 각각 소자 값의 변동에 따라 44.3 ~ 328.1 A과 6.7 ~ 16.7 A 정도의 범위에서 나타나는데, 이러한 차이로부터 제4 문턱값 δ을 30으로 설정한다면, 두 외란 원인 중 하나를 쉽게 판별할 수 있다.

- [0118] 다음으로, 외란의 원인을 커패시터 스위칭 또는 컨버터 작동 중의 하나로 판별하기 위해서, S-변환된 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이를 이용할 수 있다.
- [0119] 구체적으로, 단계(S31)에서, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이가 제5 문턱값  $\epsilon$  보다 크면 단계(S32)에서 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별하고, 그렇지 않으면 단계(S33)에서 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별한다.
- [0120] 단계(S31) 내지 단계(S33)의 타당성을 설명하기 위해, 도 8을 잠시 살펴보면, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따라 실제 배전 계통 모델에서 몇몇 외란 원인을 모의하였을 때에 각각 발생하는 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이값을 비교한 예시적인 그래프이다.
- [0121] 도 8에서, 컨버터 작동 시에 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이는 100 Hz 이내이지만, 커패시터 스위칭 시에 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이는 최소한 200 Hz를 넘는다. 따라서, 제5 문턱값  $\epsilon$  을 150으로 선택하면, 외란 원인을 컨버터 작동 시와 커패시터 스위칭 중 하나로 판별할 수 있다.
- [0122] 판별 기준을 외란 종류별로 다시 설명하면 다음과 같다.
- [0123] 먼저, 연속하는 두 개의 고조파 평균값의 샘플 값의 변화가 제1 문턱값  $\alpha$  보다 작으면 외란이 없는 것으로 본다.
- [0124] 연속하는 두 개의 고조파 평균값의 샘플 값의 변화가 제1 문턱값  $\alpha$  보다 커서 외란이 있다고 판별할 경우에, 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$  보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$  보다 크면, 외란의 원인은 변압기 가동으로 판별된다.
- [0125] 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$  보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$  보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0,max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$  보다 크면, 외란의 원인은 1선 지락 고장으로 판별된다.
- [0126] 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$  보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$  보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0,max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$  보다 작으면, 외란의 원인은 불평형 부하로 판별된다.
- [0127] 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$  보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$  보다 크면, 외란의 원인은 컨버터 작동으로 판별된다.
- [0128] 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$  보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$  보다 작으면, 외란의 원인은 커패시터 스위칭으로 판별된다.
- [0129] 바람직하게는 제1 문턱값  $\alpha$ , 제2 문턱값  $\beta$ , 제3 문턱값  $\gamma$ , 제4 문턱값  $\delta$ , 제5 문턱값  $\epsilon$  은 각각  $1 \times 10^{-6}$ , 100, 50, 2, 150으로 설정될 수 있다.
- [0130] 실시예에 따라서, 제1 내지 제5 문턱값들은 수집되는 데이터들의 장시간 동안의 변화와 그에 기초한 통계 정보에 따라 적응적으로 결정될 수 있다.
- [0131] 실시예에 따라, 제1 내지 제5 문턱값들의 각각은 절대값이 아닌 정규화된 상대값으로 결정될 수 있고, 이에 따라 각 단계에서 비교하는 파라미터들도 정규화된 후에 서로 비교될 수 있다.
- [0132] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 품질 외란의 원인 판별 장치를 예시한 블록도이다.
- [0133] 도 9를 참조하면, 전력 품질 외란의 원인 판별 장치(90)는 3상 선로에 설치된 전류 센서(91), 아날로그 디지털 변환부(92), 파라미터 연산부(93), 판별 로직부(94), 문턱값 결정부(95)를 포함할 수 있다.
- [0134] 전류 센서(91)는 3상 선로의 각각에서 교류 전류의 위상과 크기를 검출할 수 있는 예를 들어 변류기(current transformer)로써 구현될 수 있다.
- [0135] 전류 센서(91)가 검출한 3상 선로의 상전류들은 아날로그 디지털 변환부(92)에서 샘플링되어 디지털 이산값으로 각각 파라미터 연산부(93)로 인가된다.

- [0136] 파라미터 연산부(93)는 영상분 전류 합산부(931), S-변환 연산부(932), 고조파 성분 연산부(933)를 포함할 수 있다.
- [0137] 영상분 전류 합산부(931)는 각 상전류( $I_a, I_b, I_c$ )로부터 영상분 전류( $I_0$ )를 획득한다. S-변환 연산부(932)는 영상분 전류( $I_0$ )에 대해 S-변환을 수행하여, 영상분 전류( $I_0$ )의 S-변환  $S(\tau, I_0)$  값을 출력하고, S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ ), 기본 주파수와 최대 주파수의 차이값( $f_{fund}-f_{max}$ )을 산출하여 출력할 수 있다. 고조파 성분 연산부(933)는 S-변환된 영상분 전류( $I_0$ )의 고조파 성분( $h_2$  내지  $h_N$ )들을 연산하고, 연산된 고조파 성분들을 기초로, 기본파( $h_1$ )부터 N차 고조파( $h_N$ )까지의 N 개의 고조파 성분들( $h_k$ )의 평균값(AHV)과 2차 고조파 성분의 실효치( $h_{2\_rms}$ )를 연산하여 출력한다.
- [0138] 판별 로직부(94)는 파라미터 연산부(93)에서 출력하는 각종 파라미터들, 즉 N개 고조파 성분들의 평균값(AHV), 2차 고조파 성분의 실효치( $h_{2\_rms}$ ), 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ ), 기본 주파수와 최대 주파수의 차이값( $f_{fund}-f_{max}$ )을 기초로 하여, 각각 외란의 원인을 변압기 가동, 1선 지락 고장, 불평형 부하, 컨버터 작동, 커패시터 스위칭 중 적어도 하나로 판별할 수 있다.
- [0139] 구체적으로, 판별 로직부(94)는 먼저, 연속하는 두 개의 고조파 평균값의 샘플 값의 변화가 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 작으면 외란이 없는 것으로 보고 외란 원인의 판별을 하지 않는다.
- [0140] 연속하는 두 개의 고조파 평균값의 샘플 값의 변화가 제1 문턱값  $\alpha$ 보다 커서 외란이 있다고 판별할 경우에, 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 크면, 판별 로직부(94)는 외란의 원인을 변압기 가동으로 판별한다.
- [0141] 판별 로직부(94)는, 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 크면, 외란의 원인을 1선 지락 고장으로 판별한다.
- [0142] 판별 로직부(94)는, 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 크고, 2차 고조파 성분  $h_2$ 의 크기가 제3 문턱값  $\gamma$ 보다 작으면서, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대값( $I_{0\_max}$ )가 제4 문턱값  $\delta$ 보다 작으면, 외란의 원인을 불평형 부하로 판별한다.
- [0143] 판별 로직부(94)는, 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 크면, 외란의 원인을 컨버터 작동으로 판별한다.
- [0144] 판별 로직부(94)는, 만약 S-변환된 영상분 전류의 7차 고조파 성분들까지의 평균값(AHV)의 최대값이 제2 문턱값  $\beta$ 보다 작고, 영상분 전류( $I_0$ )의 최대 주파수( $f_{max}$ )와 기본 주파수( $f_{fund}$ )의 차이값이 제5 문턱값  $\epsilon$ 보다 작으면, 외란의 원인을 커패시터 스위칭으로 판별한다.
- [0145] 선택적인 구성요소인 문턱값 결정부(95)는 제1 문턱값  $\alpha$ , 제2 문턱값  $\beta$ , 제3 문턱값  $\gamma$ , 제4 문턱값  $\delta$ , 제5 문턱값  $\epsilon$ 를 외부의 설정에 따라, 또는 파라미터 연산부(93)에서 지속적으로 연산 및 누적되는 파라미터들의 분포에 기초하여 적응적으로 설정할 수 있다.
- [0146] 예를 들어, 문턱값 결정부(95)는 파라미터들의 분포를 분석하여 적어도 두 개의 그룹으로 군집화하고, 이후에 입력되는 파라미터들을 두 개의 그룹 중 어느 한쪽으로 안전하게 분류할 수 있는 값을 문턱값으로 결정할 수 있다.
- [0147] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명이 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이와 균등하거나 또는 등가적인 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다 할 것이다.

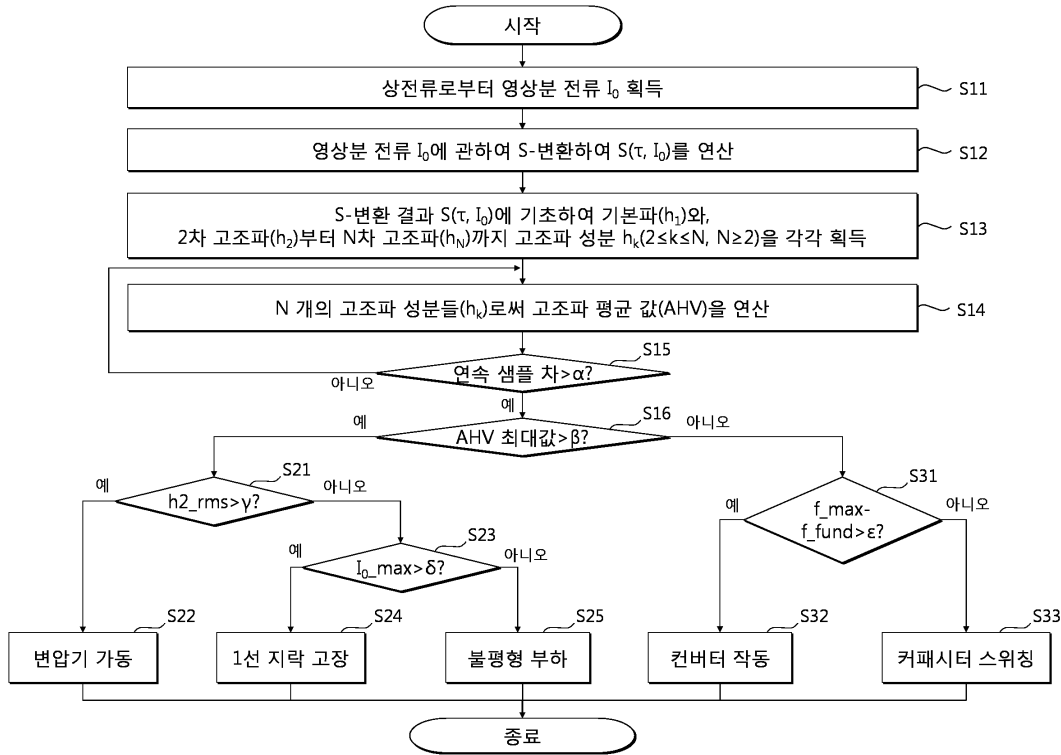
**부호의 설명**

- [0148] 90 전력 품질 외란 원인 판별 장치

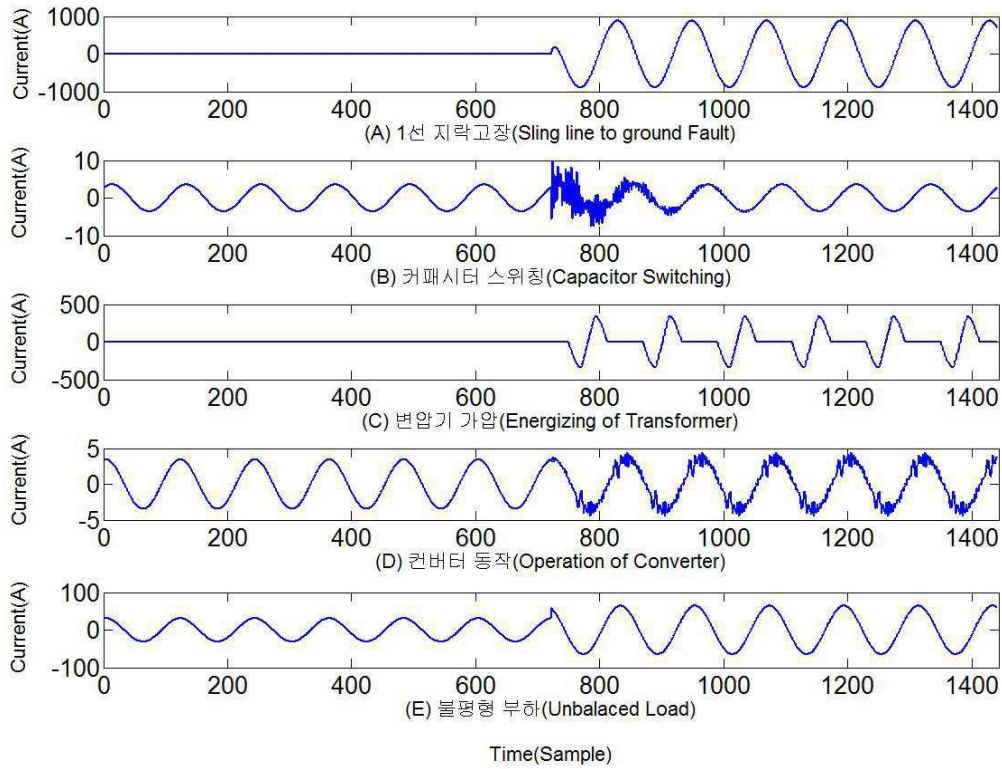
- 91 전류 센서들
- 92 아날로그 디지털 변환부
- 93 파라미터 연산부
- 94 관별 로직부
- 95 문턱값 결정부

도면

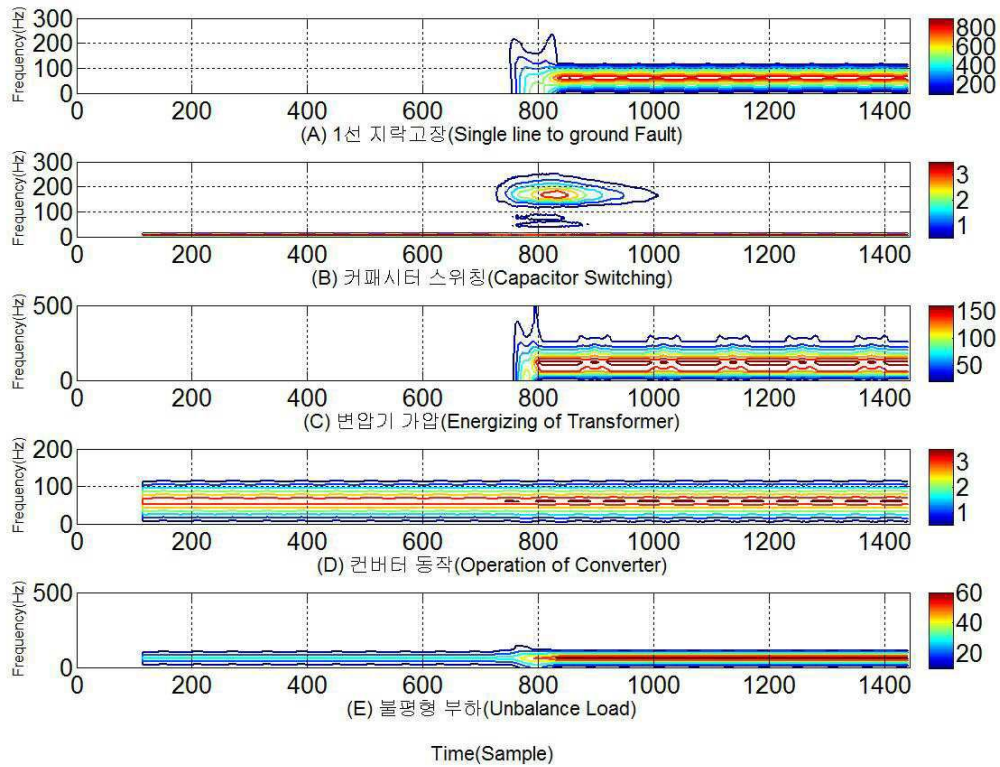
도면1



도면2

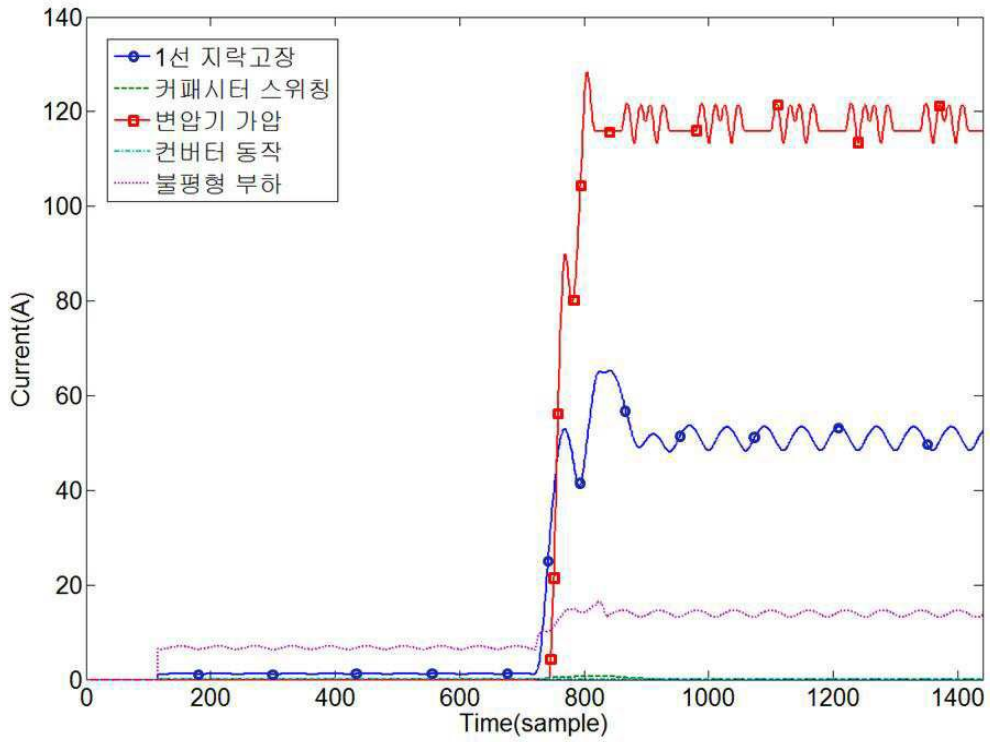


도면3

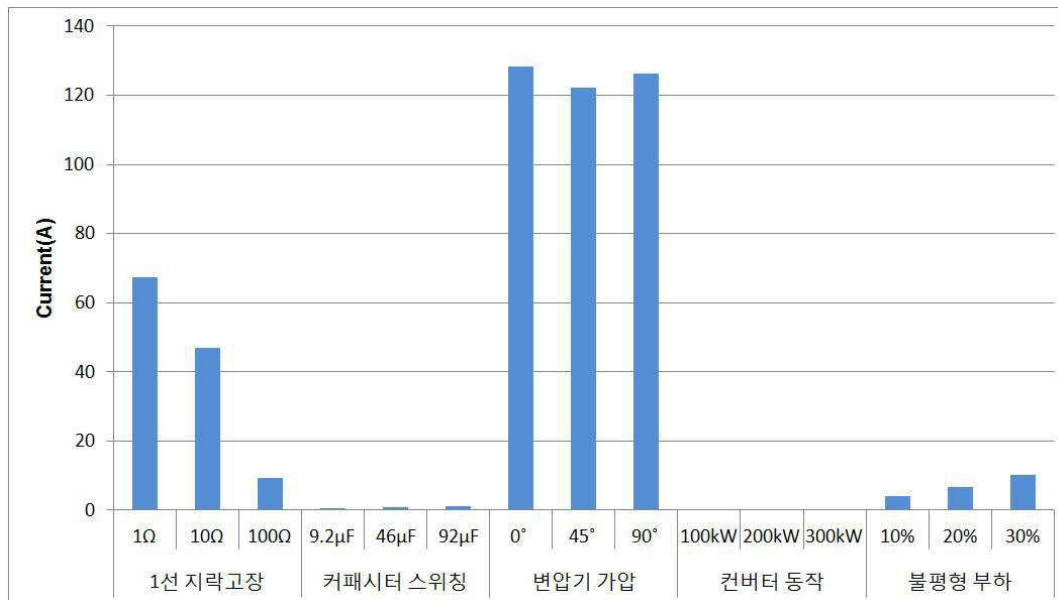




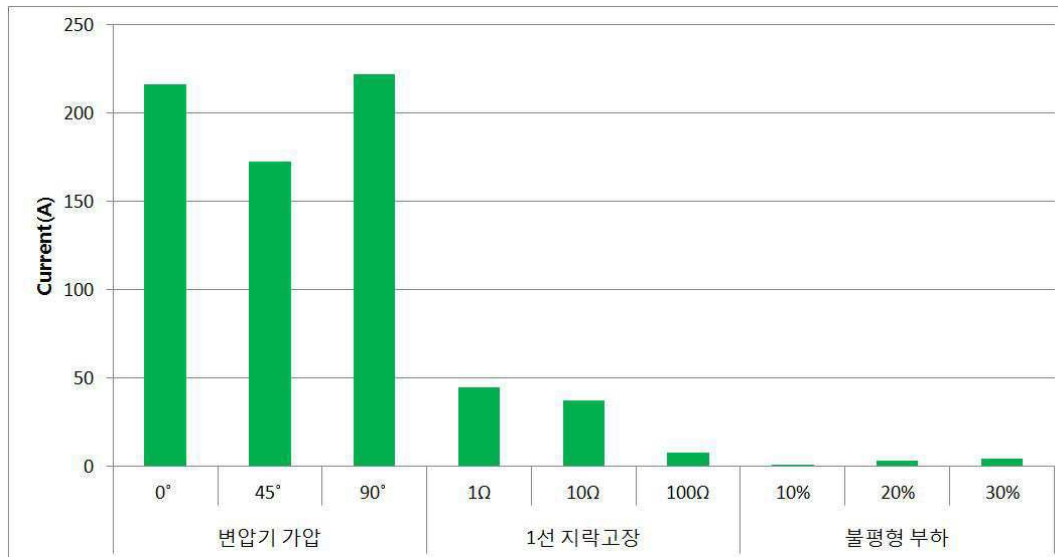
도면4



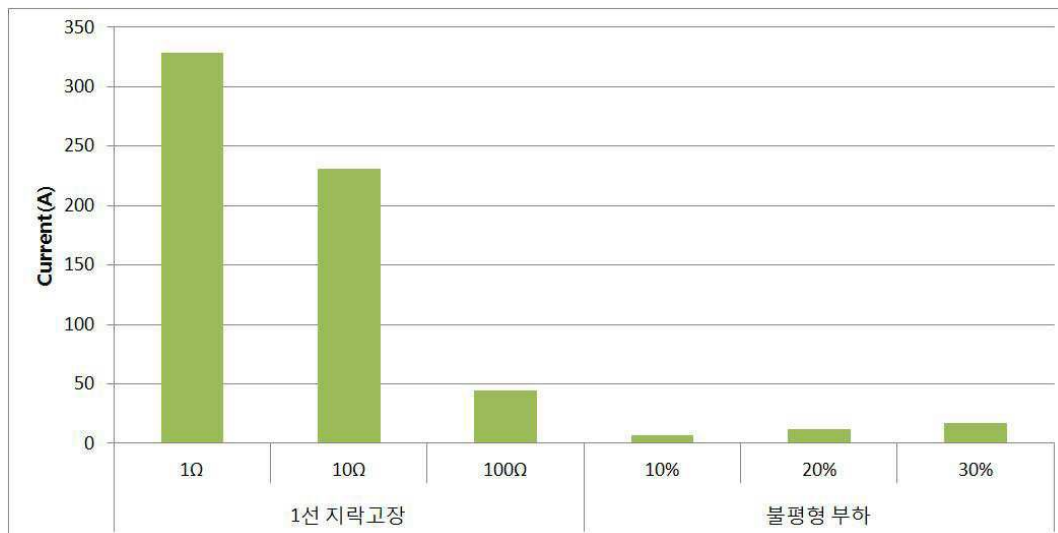
도면5



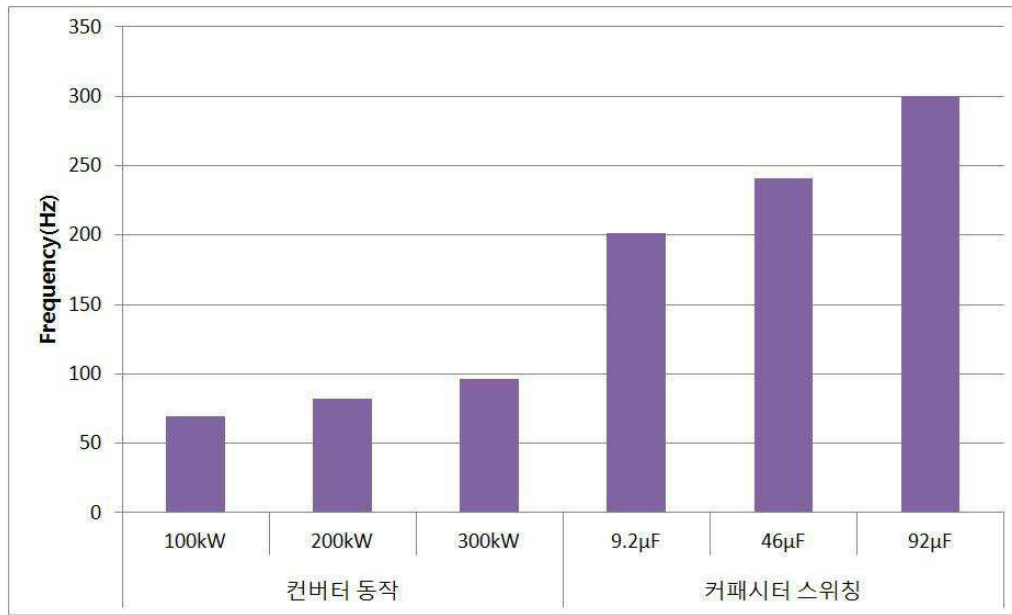
도면6



도면7



도면8



도면9

