

전력계통 동요시 고장 구분

장성익, 박순규, 이종주, 정호성, 신명철
한국전력공사, 성균관대학교

Fault Detection during Power Swings

Sungik Jang, Soonky Park, Jongjoo Lee, Hosung Jung, Myungchol Shin
KEPCO, SKKU

Abstract - 전력계통망의 부하 구성에서 발생하는 갑작스런 변화는 계통의 부하 중심 사이에 전력 동요를 일으키게 되는데 계전기가 설치된 점에서 전압, 전류, 임피던스, 유효, 무효전력의 측정되는 전기량은 위상각 δ 의 함수로 변화한다. 그러한 조건에서 거리계전기의 오동작을 방지하기 위해 계통동요 방지 장치가 자주 이용된다.

종래의 계통동요 방지 장치는 이러한 전기량의 변화로 응용되었다.

그러나 이런 방법은 빠른 계통 동요에 대처하지 못하고, 고저항 지락 같은 고장에는 장시간지연을 피할 수 없게 된다. 본 논문에서는 계통 동요시 여러고장 식별을 위해 계전기에 직교웨이브렛(WT)을 도입하여 동요시 고장을 구별하는 방법을 제시한다.

1. 서 론

일반적으로 전력계통은 평형상태를 유지하지만 급작스런 부하의 변동, 스위칭, 고장 등의 갑작스런 외란에 의해 동기가 불일치되는 현상이 발생하여 선로 양단의 계통전원이 요동치는 현상을 일으키기도 하며, 거리계전기의 동작 영역으로 근접하여 오동작을 유발하는 경우도 있다[1,2].

그러한 조건에서 거리계전기의 오동작을 방지하기 위해 계통동요 방지 장치가 자주 이용된다. 종래의 계통동요 방지 장치는 이러한 전기량의 변화로 응용되어 계전기에 나타난 동작영역에서의 지연시간과 전류의 변화를 감시, 저항R, 전압 위상각, $V\cos\phi$ 등의 요소에 지배되었다.

그러나 위 방법은 빠른 계통 동요에 대처하지 못하고, 고저항 지락 같은 고장에는 장시간지연을 피할 수 없게 된다.

여기서는 빠른 계통 동요시 고장 식별을 강조한 퓨리에 변환의 웨이브렛(WT)을 계통동요와 다양한 고장유형을 식별하여 대응하도록 전력계통 보호계전기에 직교 WT 도입하여 결과를 제시하여 신뢰성 있는 계통운용이 되도록 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계통동요 현상

평형상태를 유지하고 운전 중인 전력계통이 급작스런 부하의 변동, 스위칭, 고장 등의 갑작스런 외란으로 동기가 불일치되는 현상이 발생하거나 고장의 제거와 더불어 전력계통 운전이 불명확하고 전압과 전류의 극심한 변화가 전력계통에서 발생한다[1,2].

다음 그림은 양 전원의 중간 지점에 계전기를 설치한 간단한 계통을 나타내고 있다. 계전기 전압 V_R 은 V_S 와 V_U 사이의 상차각과, 양 전원의 Z_S, Z_L, Z_U 등의 임피던스 배분에 의하여 결정된다. V_R 은 양 전원 사이의 임의의 위치에서의 전압이라고 가정한다.

가속되는 전원 V_S 는 V_U 에 대한 위상으로 이동하고, 계전기 설치점에서 보는 피상 임피던스(V_R/I_R)는 시간에 따라 변화하여, R-X 평면상의 궤적을 그린다. 저하된 전

압과 대 전류와 더불어 이러한 전력계통 동요(Swing) 조건은 3상 고장현상으로 나타난다.

이 피상적인 3상 고장의 위치는 그 전력계통의 전기적 중심점이 된다. 만약 피상 임피던스가 거리계전기의 동작영역으로 진입하면 계전기가 동작하게 된다.

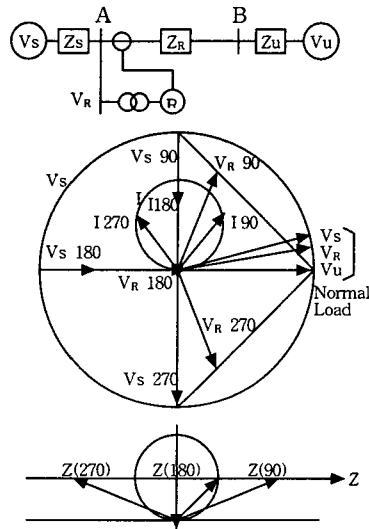


그림 1. 계통동요와 전기량 변화

2.2 거리계전기에 미치는 영향

거리계전기는 계전기의 동작영역으로 임피던스 궤적을 진입하는 동기탈조 조건이 생성되면 3상 단락고장으로 응용 하게 된다.

동요(Swing) 임피던스가 Zone-1 계전기의 원 특성 이내로 들어오는 순간 계전기 동작범위 양측 전압간의 위상차는 90도가 된다.

그림 2에서 계전기 설치점 A와 선로의 90% 지점의 전압간의 위상차가 90도가 되어야 한다. 발전기 유효전압은 실제적으로 90도 이상의 위상차가 발생한다(그림의 위상각 m). 이러한 Swing 이후 전력계통이 안정적인 운전상태로 회복할 수 있는 가능성은 사실상 불가능하다.

일반적으로 Swing에 대한 Zone-1 trip은 회복할 수 없는 Swing에 한해서 발생한다. 회복이 가능한 심한 Swing으로 인한 차단을 방지하기 위하여 거리계전기의 오동작(Overreach)을 제한할 장치(Blinding)가 필요하게 된다. 거리계전기는 양 계통의 전압의 위상차가 매우 크게 증가될 때에는 차단 절차가 개시된다.

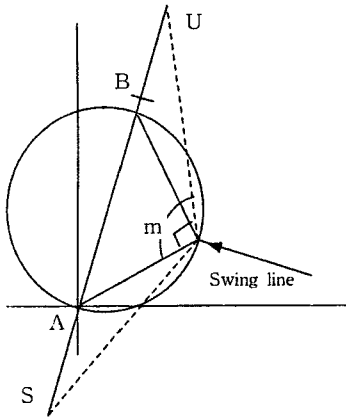


그림 2. Swing trip중의 위상각

고장구별 방법

일반적으로 계통동요(탈조) 현상과 삼상 평형 고장을 구별하는 방법은 크게 세가지로

- 1) 대칭성분 요소 중 역상분을 감시하는 방법이다. 동기동요(탈조) 현상 중에 전압, 전류는 평형을 유지하게 되어, 역상분 요소는 존재하지 않고, 삼상 평형 고장의 경우는 일반적으로 평형 고장이기 때문에 역상분이 존재하지 않지만, 일반적으로 삼상 고장은 1선 지락, 선간 단락 고장 등에서 확대되어 발생하기 때문에, 삼상 고장이 발생하기 전에 역상분의 요소가 존재하게 된다.
- 2) 전압, 전류의 순시 변화량을 이용하는 방법이다. 동기동요(탈조) 현상 중에 전압, 전류의 크기는 주기적이며, 변화 속도가 느리다. 삼상 평형 고장의 경우에 전압, 전류 크기의 변화는 매우 빠르며, 전압은 감소하고, 전류는 증가하게 된다. 전압의 변화량 dv/dt , 전류의 변화량 di/dt 를 이용하여 구별할 수 있다. 이 방법은 계전기에서 고장을 인식하는데(Fault Detect) 사용되기도 한다.
- 3) 계전기가 측정하는 피상 임피던스를 이용하는 방법이다.

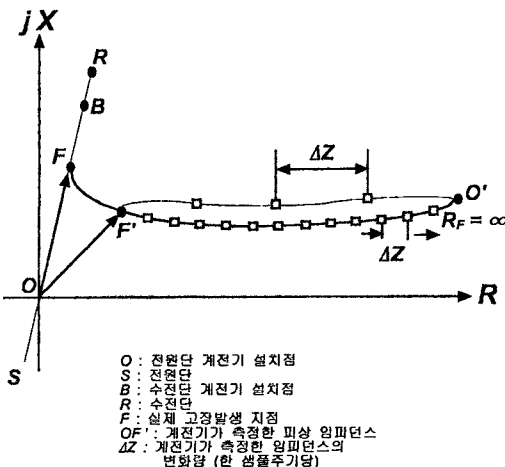


그림3. 계전기의 피상임피던스

동기탈조 현상에서 계전기가 측정하는 피상 임피던스의 위상차는 계전기에 유입되는 전압, 전류의 위상차는 양단 전원간의 위상차 δ 에 의해 영향을 받는다. 그러나 삼상 평형 고장의 경우에는 일반적으로 선로정수에 기인하는 상수(constant)의 값을 갖는다.

계전기 측정 피상 임피던스 변화량, 피상 임피던스 수렴 속도를 이용하여 구별할 수 있다.

2.4. 제안 고장구별 방법

위 방법은 빠른 계통 동요에 대처하지 못하고, 고저항 지락 같은 고장에는 장시간지연을 피할 수 없게 된다.

여기서는 빠른 계통 동요시 고장 식별을 강조한 계통 보호 계전기에 직교WT 도입하여 결과를 얻었다.

푸리에 변환과 달리 WT는 정신호(stationary signal)를 분석하고, 위함수를 확산함으로 여러 단계의 해를 갖는 다른 스케일로 신호를 분할한다. WT에 의한 신호의 스케일 분할은 WT가 적분사승함수와 집단이론 표현에 기반을 두고 있다. 이런 변환의 큰 차이는 푸리에 변환은 신호의 전체표현을 나타내고, WT는 부분(시간, 주파수 영역) 표현 능력을 제공한다[3].

그러므로 WT는 계통 동요와 동요시 고장에서와 같이 시간-주파수 해가 요구되는 곳의 신호 분석에 적합하다.

송전선에서 고장과 계통동요의 전류들이 침투값 일지라도 고장전류는 고주파수의 성분으로 전류의 특징이 구별된다. 전류 파형에서 어떤 주파수 범위에 차이가 존재하므로 송전선의 고장과 계통동요를 구별하게 된다.

이러한 WT 선정은 계통 과도현상의 여러 형태를 배치하고 검출하게 된다. 이 논문에서 3840Hz의 샘플율과 모함수로 도비시(Daubechies) 5차 직교WT를 선정하여 수행하였다. 여기서 선정된 알고리즘은 고속 처리되고 실시간으로 수행되어질 수 있다.

2.5. 결과 분석

계통동요와 각종 고장을 모의하기 위해 그림4와 같은 계통을 모의하고 결과를 얻게 되었다[3].

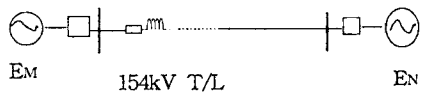


그림 4. 계통 모의모델

모의 결과 분석

위 모의 계통을 실시간 디지털 시뮬레이션(RTDS)를 이용하여 시뮬레이션 데이터를 취득하고 분석하였다.

그림 5와 같은 계통동요시 종래의 계전방식에서는 빠른 계통동요를 식별하거나 고저항 고장시 지연차단의 우려가 있었다.

여기에 WT를 적용하여 그림5, 7, 9와 같이 계통동요와 동요시 발생될 수 있는 1선 지락, 3상 단락 고장을 식별하게 된다.

그림6 과 같이 동요시 WT의 도비시(Daubechies) 1차 분석 결과는 변화가 없게 되나 그림7의 1선지락의 경우나 그림9의 3상단락의 경우 A,B,C 각상 WT의 도비시(Daubechies) 1차 분석 결과에 많은 변화가 검출되어 고장이 식별 된다.

다음에 시뮬레이션 결과와 WT분석결과를 보인다.

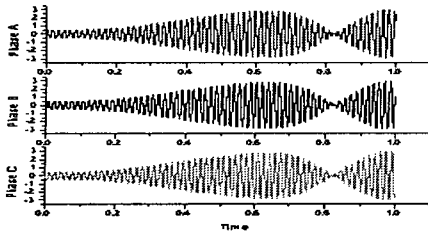


그림 5. 계통동요 시뮬레이션 결과

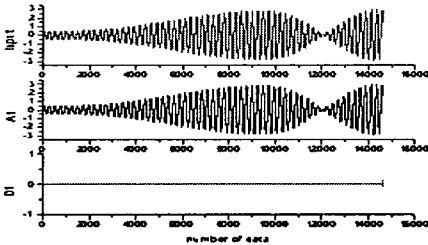


그림 6. 계통동요 웨이블릿 분석 결과

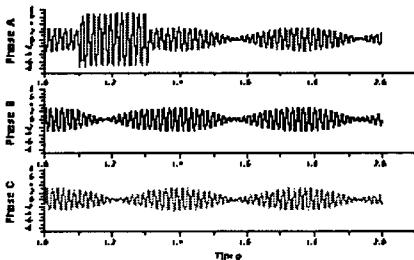


그림 7. 1선 지락시 시뮬레이션 결과

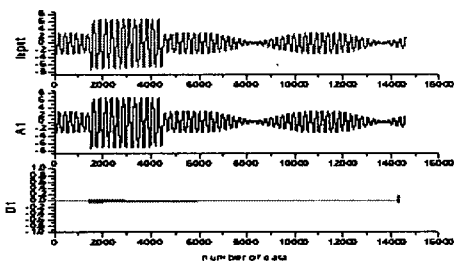


그림 8. 1선지락시 웨이블릿 분석 결과

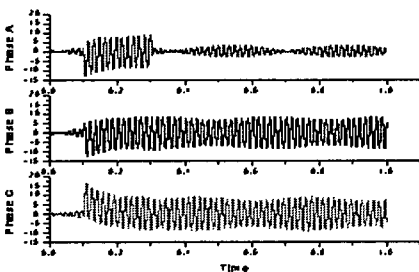


그림 9. 3상 단락 시뮬레이션 결과

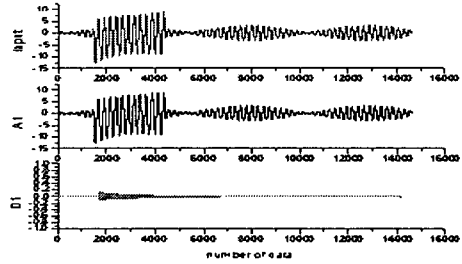


그림 10. 3상 단락 A상 웨이블릿 분석 결과

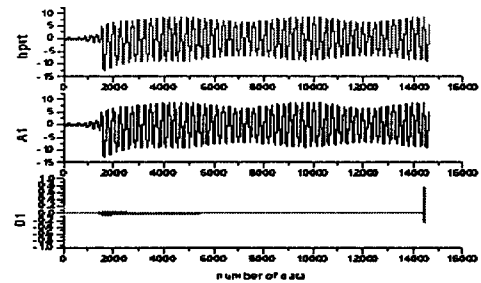


그림 11. 3상단락 B상 웨이블릿 분석 결과

3. 결 론

계통동요, 특히 빠른 계통동요시 종래의 계전기가 오 동작 하거나, 고저항 지락 같은 고장에는 장시간 지연이 초래 될 수 있었으나 웨이블릿을 적용하여 전력계통 동요시 여러 고장구분 할 수 있었다.

제시된 방법은 직교WT에 기초하여 거리계전의 저지요소서 사용되어질 수 있고, 송전선로 전류에 도비시(Daubechies) 5차 직교WT 적용하여 고장을 검출할 수 있는 결과를 제공한다.

이 방법에는 비교적 짧은 데이터 윈도우를 사용하여 실시간 적용이 가능하게 된다.

이런 알고리즘은 여러 종류의 계통 동요시 발생하는 고장에 확대 적용하여 검증한 후 고장 식별에 유용 할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사. "전력계통해석" 2001
- [2] Mitsubishi, "Line Protection Manual" 2001
- [3] Xiangning Lin, " Effective transmission line fault detection during power swing with wavelet transform" IEEE, 2000
- [4] A. Mechraoui W. P Thomas "A new Blocking Principle with Phseaand Fault Detection during Fast Power Swing for Distance Proection" IEEE Trans. on PWAD, Vol. 10, no3, PP 1242-1248, July 1995