

전력계통 동요 시 계통임피던스 분석과 안정화 장치 적용

장성익, 박순규, 이종주 신명철  
한국전력공사, 삼군관대학교

Application on the Stabilizing device and Impedance analysis during The Power system Swing

S. I Jang S. K Park J J Lee M. C Shin  
KEPCO. SKKU

**Abstract** - 전력계통망의 부하 구성에서 발생하는 갑작스런 변화는 계통의 부하 중심 사이에 전력 동요를 일으키는데 전력계통의 안정한 운영을 위해서는 계통안정도를 고려한 계통보호가 요구된다. 계통여건 변경 시 계통 임피던스 궤적의 변화가 있게 되는데 일반적인 거리 계전기들이 이러한 임피던스 변화에 따라 옹동하게 되고 계통동요 시 거리계전기의 오동작이 있기도 하여 계통동요 방지 장치가 자주 이용된다. 본 논문에서는 실 계통 변화, 특히 계통 동요시 계통 임피던스를 분석하고 계통안정도 향상을 위한 계전방식 적용 방법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

전력계통망의 부하 구성에서 발생하는 갑작스런 변화는 계통의 부하 중심 사이에 전력 동요를 일으키는데 전력계통의 안정한 운영을 위해서는 계통안정도를 고려한 계통보호가 요구된다.

계통동요가 발생될 때 전원과 기기의 그룹사이에 전압 위상각  $\delta$ 가 변화하고 계전기가 설치된 점에서 전압, 전류, 임피던스, 유효·무효전력의 측정되는 전기량은 위상각 $\delta$ 의 함수로 변화한다. 그러한 조건에서 거리계전기의 오동작을 방지하기 위해 계통동요 방지 장치가 자주 이용된다. 종래의 계통동요 방지 장치는 이러한 전기량의 변화로 옹동되어 계전기에 나타난 동작영역에서의 지연시간과 전류의 변화를 감시, 저항R, 전압 위상각,  $V\cos\phi$  등을 내포하였다.

그러나 위 방법은 빠른 계통 동요에 대처하지 못하고, 고저항지락 같은 고장에는 장시간 지연을 피할 수 없게 된다[1].

여기서는 푸리에 변환의 획기적인 개발인 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)을 이용하여 전력계통의 각종 고장과 빠른 계통 동요시 고장 식별을 할 수 있도록 실 계통에서 모의하여 계통안정도 향상을 위한 동기탈조 계전방식에 적용되도록 하는 방법을 제시한다.

2. 본 론

2.1 계통동요 시 적용되는 계전 방법

일반적으로 계통동요(탈조) 현상과 삼상 평형 고장을 구별하는 방법들에는

1) 대칭성분 요소 중 역상분을 감시하는 방법으로 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 방법인데 동기동

요(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, 전류의 변화량을 이용하여 구별할 수 있다. 이 방법은 계전기에서 고장을 인식하는데(Fault Detect) 사용되기도 한다.

3) 계전기가 측정하는 피상 임피던스를 이용하는 방법으로 동기탈조 현상에서 계전기가 측정하는 피상 임피던스의 위상차는 계전기에 유입되는 전압, 전류의 위상차는 양단 전원간의 위상차에 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.

4) 정상전압의 위상차를 비교하는 방법으로 자단과 상대단의 전압 위상차가 180°를 초과할 때 동기 탈조를 검출되는 방법 등이 있다.

2.2 계통동요 시 계통임피던스 변화율과 응용

전력계통에서 발생하는 동요를 다르게 모의하기 위해 고장 발생 후 고장제거 시간을 다르게 할 때 계통에 과급되는 정도가 차이가 있다. 아래 그림은 샘플모델 계통에서 고장 제거 시간을 달리 했을 때의 계통동요에 따른 임피던스 궤적의 변화와 계통 안정도를 분석한 것이다.

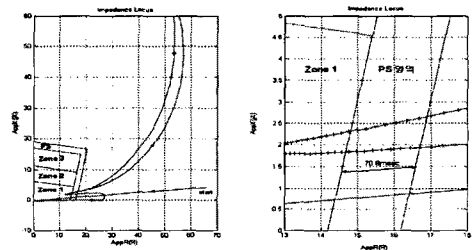


그림 1. 임피던스 궤적 및 PS영역 통과시간

위 그림은 고장제거 시간을 80msec로 한 경우로 PS통과시간은 70.8msec이고, 고장제거 시간 90msec에서는 PS통과시간 55.8msec으로 계통이 안정하나 고장지속시간이 100msec를 넘는 경우는 계통이 불안정하게 된다.

그러나 일반적인 동기탈조 계전기가 계통 임피던스 궤적의 변화율로 판단되는 계전기에서는 이 동기탈조 영역을 통과하는 시간(≈70ms)으로 계전기 동작여부가 판단되어 아래 계통의 임피던스 변화율처럼 동기 탈조 영역의 통과 시간이 75ms 정

도 되는 계통은 계전기 동작 임계값에 가까이 접근 될 수 있으며, 또한 좀더 빠른 계통 동요시에는 위에서와 같이 안정될 수 있는 계통에서도 계전기 오동작으로 인한 계통 불안정으로 발전 할 수 있게 된다.

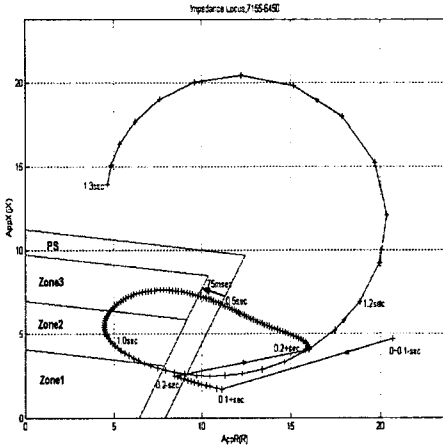


그림2 임피던스 궤적 및 계전기 특성곡선

비록 송전선에서 고장과 계통동요의 전류들이 피크치 일지라도 고주파수의 성분으로 전류들의 특징이 구별되어져 전력계통 동요 동안의 고장을 식별할 수 있도록 웨이브렛 변환(Wavelet Transform) 기법을 적용한다.

### 2.3 웨이브렛 변환( Wavelet Transform : WT ) 적용

전력계통의 비주기적인 과도현상을 분석하기 위해 웨이브렛 변환(Wavelet Transform)이 제시 되어 nonstationary 또는 과도 특성을 갖는 송전선로의 특성을 해결할 수 있게 된다.

웨이브렛 변환은 웨이브렛 원형함수(mother wavelet)를 정의하고 원신호와 마더 웨이브렛을 비교하여 그 유사성을 측정함으로써 수행된다[2]. 가변적인 윈도우를 얻으려면 이 원형함수를 time scaling과 time shift를 통해서 원신호와 비교하여 그 유사성을 계수값의 크기로 나타내며 다양한 웨이브렛 신호를 분해한다. 웨이브렛 변환은 높은 주파수 대역에서는 해상도가 낮고, 낮은 주파수 대역에서는 해상도가 높은 분해 특성을 나타낸다. 따라서 저주파수 정보를 정확하게 원하는 곳에서는 긴 윈도우를 사용하고 고주파수 정보를 원하는 곳에서는 짧은 시구간을 사용하므로써 정확한 분석이 가능하다

#### 2.3.1 마더 웨이브렛

웨이브렛은 마더 웨이브렛h(t)를 scaling과 shift시켜 얻어진 함수들의 집합  $h_{a,b}(t)$  이며 식 (1)과 같이 표현된다.  $h_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t-b}{a}\right)$  ..... (1)

여기서,  
a : scaling 요소( 마더 웨이브렛의 팽창, 압축 )  
b : shift 요소로( 마더 웨이브렛을 b만큼 지연 )

#### 2.3.2 웨이브렛 변환의 수행과정

연속 웨이브렛 변환,  $C_{a,b}(t)C(t)$ 는 다음 식 (2)와 같이 표현되며, 웨이브렛 변환의 수행과정은

$$C_{a,b}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot h_{a,b}(t) dt \dots\dots\dots (2)$$

첫째, 마더 웨이브렛을 결정한 후 분석할 원신호의 시작점에서 원신호와 마더 웨이브렛을 비교하여 나온 계수값  $C_{a,b}(t)$ 는 원신호의 한부분과 마더 웨이브렛이 얼마나 유사한 지를 나타낸다.

$C_{a,b}(t)$ 값이 클수록 서로 유사한 형태임

둘째, 분석할 신호의 끝부분까지 오른쪽으로 shift시키면서 계수값  $C_{a,b}(t)$ 를 계산한다.

셋째, 마더 웨이브렛을 a의 최대값까지 scaling시키며 각각 a값에 대해 두 번째 과정 반복한다.

#### 2.3.3 이산 웨이브렛 변환과 다분해능 웨이브렛 변환

연속 웨이브렛 변환은 분석할 웨이브렛의 갯수가 무한히 많으므로 scaling 요소와 shift 요소를 이산화시킨 이산 웨이브렛 변환  $D_{a,b}$ 는 다음 식 (3)과 같다.

$$D_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n S[n] \cdot h\left[\frac{k-na_0^m}{a_0}\right] \dots\dots\dots (3)$$

2의 멱승형태에 기초한 scaling과 shift를 사용하면 분석은 더욱 효율적이고 정확하게 수행될 수 있다. 이러한 분석방법을 dyadic wavelet transform이라 한다. 이산 웨이브렛의 수행과정은 고차필터와 저차필터를 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장된다. 이산 웨이브렛 변환은 원신호 S를 고차필터(Detail)한 성분과 저차필터(Approximation)한 성분으로 분해하는 과정이다. 다분해능은 여러 개의 고차필터( $cD_1, cD_2, cD_3, \dots, cD_n$ )와 저차필터( $cA_1, cA_2, cA_3, \dots, cA_n$ )로 구성된 필터뱅크로서 웨이브렛 변환을 반복하는 과정이다. 원신호 S는 다음 식 (4)와 같이 재구성될 수 있으며,

$$S = cD_1 + cD_2 + cD_3 + cD_4 + \dots + cD_n + cA_n \dots\dots (4)$$

이때 각 필터링을 통해서 얻어지는 데이터의 양을 감소시켜 계산을 신속하게 수행하기 위하여 Downsampling 한다.

#### 2.3.3 머더WT 선정

앞에서 설명된 것처럼 WT의 선정은 전력계통 과도현상의 여러 형태를 검출하는 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 3840Hz의 샘플율을 사용하였고 머더WT는 일반적으로 송전선로 고장 검출에 사용되는 머더WT의 Daubechies, Biorthogonal의 bior 및 Symlets의 sym중 Daubechies 5차 직교WT으로 수행하여 계통동요 전류가 웨이브렛 분할의 첫째 스케일에서 상당히 다른 특성을 보였다.

### 2.4 실계통 적용

위에서 언급한 WT을 실 계통에 ( 765kV 계통 ) 적용하여 발전력 탈락, 부하 차단 등의 전력계통 동요시 WT 분석과 계통동요 중의 각종 고장을 구분하기 위한 WT분석으로 확인하였다.

실 계통에서 계통동요를 모의하기 위해 발전력과 부하 일부를 차단하고 얻은 계통동요 현상에서 발생된 전류 파형들을 WT분석하였다.

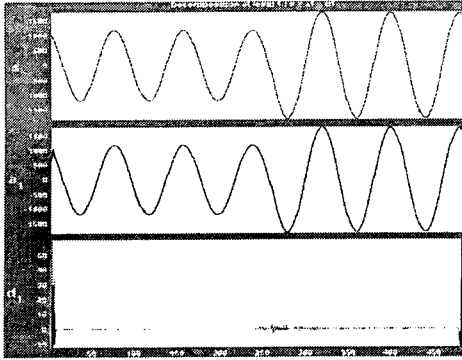


그림 3. 발전원 탈락 계통동요 WT 분석결과

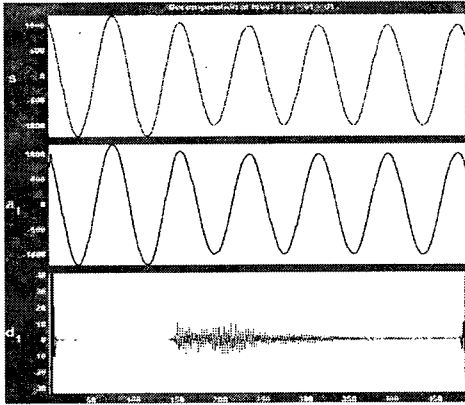


그림 4. 부하차단 계통동요 WT분석결과

이들의 WT 분석한 고장전류의 최대치  $MaxWTi(t)$  값들은 각각 3.36 및 10.04로 그 값들이 상당히 작음을 알 수 있다.

또한 계통 동요 중 각 경우의 실제 고장을 모의하여 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

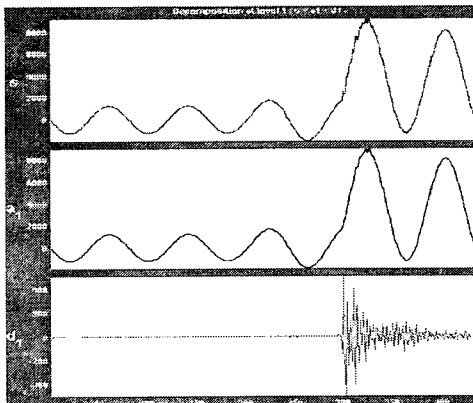


그림 5. 계통동요 중 3상 단락고장 WT분석결과

그림 5는 발전원 탈락(0.05초)으로 계통 동요가 진행 중 3상 단락 발생(0.07초)한 경우의 WT 분석 결과의  $MaxWTi(t)$ 가 502.81, 동요중 1선고저항지락(30옴, 0.65초)의  $MaxWTi(t)$  514.96이고 그림6은 300옴 고저항 지락시  $MaxWTi(t)$ 는 152.91로 아래 그림과 같다.

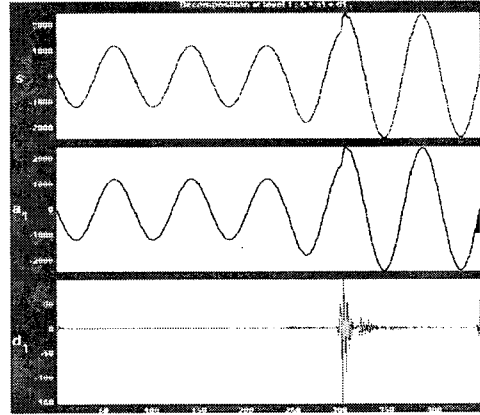


그림 6. 계통동요 중 1선 300옴 고저항지락 WT결과

위 결과에서 알 수 있듯이 전력계통 변화에 따른 계통동요시의  $MaxWTi(t)$ 값들과 고장발생으로 인한  $MaxWTi(t)$ 값에는 큰 차이가 있음을 보인다.

### 3. 결 론

전력계통망의 부하 구성에서 발생하는 갑작스런 변화로 전력 동요를 일으키는데 전력계통의 안정한 운영을 위해서는 계통안정도를 고려한 계통동요 방지 장치의 계통보호가 요구된다.

종래의 계통동요 방지 장치는 거리계전기의 동작 영역으로 근접하여 오동작을 유발하는 경우와 빠른 계통 동요에 대처하지 못하고, 고저항 지락같은 고장에는 장시간지연을 피할 수 없게 된다.

여기서는 전력계통의 각종 고장과 빠른 계통 동요시 고장 식별을 할 수 있도록 모델 계통과 실 계통에서 EMTP 모의와 웨이브렛 변환(Wavelet Transform)한 분석 결과로부터 동기탈조 계전 방식에 적용될 수 있는 방법을 모색하여 계통동요와 각종 고장의 확실한 구분으로 계통안정 운영의 향상을 기대한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] A. Mechraoui D.W.P Thomas, " A New Blocking Principle with Phase and Earth Detection During Fast Power Swings for Distance Protection", Trans. on P. D. Vol 10, No. 3. 1995. 6
- [2] H. Kim, C. H. Kim, "High Impedance Fault Detection using Wavelet Transform", Trans. of KIEE. Vol. 48, No. 12, pp. 1492-1497, 1999. 12.