

계전기 동특성 테스트를 위한 전력동요 모델 개발

°김수남 이명수 이재규 유석구  
\*한양대학교 \*\*대덕대학

Development of Protective Relay Dynamic Test Model for Power Swing

Soo-Nam Kim Myung-Soo Lee Jae-Kyu Lee Seok-Ku You  
\*Hanyang University \*\*Daeduck collage

**Abstract** - This paper presents the power swing model to dynamic test of protective relay. We propose the method of configuration of the locus of swing by change the voltage magnitude, impedance and frequency with the proposed model.

1. 서 론

최근 복잡화되고 대용량화 되어가고 있는 계통에서 Digital 보호계전기의 역할이 증가하고 있고, 이 때문에 계전기를 계통에 설치하기 전에 해당 계전기의 정확한 동작여부를 판단하는 성능시험이 더 없이 중요하게 되었다. 이러한 관점에서, 계전기 제조자와 전력운영자들은 Real Time Digital Simulator (RTDS) 같은 적절한 도구를 사용하여 계전기의 성능을 시험하고자 하는 연구를 진행시키고 있다[1]. 즉, 보호계전기는 고장동안 발생하는 전압과 전류의 변화만으로 그 동작이 결정되는 것이 아니기 때문에 기존의 전압, 전류의 변화를 줌으로써 계전기의 설정값에 대한 동작여부를 시험하는 정특성 시험과는 달리 고장으로 인한 과도현상과 실 계통에서 발생 할 수 있는 연속적인 고장 등을 RTDS와 같은 simulator를 이용한 시험인 동특성 시험이 필요하다 [2].

계통 외란시 각 발전기는 회전자 속도의 변화가 생기며 이것은 발전기 단자 전압원의 위상각에 변화를 발생시켜 두 전압원 사이의 전압 위상각의 차이가 진동하게 된다. 이것을 전력동요라 하는데 일반적으로, 동기 탈조 계전기는 이러한 동요가 계통이 건널만 한 것인지 아니면 탈조로 향하고 있는지를 판단하여 동작하게 된다[3,4]. 그러나 동요 중 전기적 중성점 부근에 위치한 보호계전기는 전압을 최소, 전류는 최대로 인식하는 경우가 발생하고 이 경우 3상 단락사고로 인식, 오동작 하게 된다. 따라서 대부분의 집적화된 디지털 계전기는 이러한 전력동요시 trip신호를 출력하지 못하도록 차단요소를 가지고 있다. 전력동요 차단 알고리즘은 swing의 속도와 궤적으로 고장과 구별하는데 이를 시험하기 위해서는 적절한 속도와 궤적을 발생한 계통모델을 구성해야 한다.

본 논문은 이러한 모델을 구현하는 방법을 기술하고자 한다. 그림1 은 RTDS를 이용한 보호계전기 동특성 시험에 관한 구성을 보여준다.

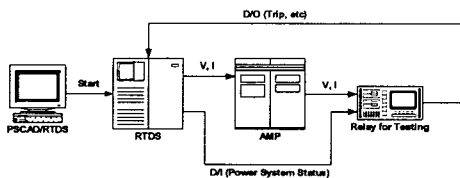


그림 1 RTDS를 이용한 보호계전기 동특성시험 결선도

2. 본 론

2.1 전력동요시 피상 임피던스

그림 2에서와 같이 전압  $V_{S2}$  가  $V_{S1}$ 에 대하여 변화하고 있을때, 복소평면에서 전압의 궤적은 원을 그리게 된다.  $V_{S2}$  전압이  $180^\circ$  벌어지게 되면 전체 선로의 전기적 중성점에서의 전압은 zero 가 된다. 또한 전류는 최대가 되어 만약 전기적 중성점 근처에 설치된 거리계전기의 피상 임피던스 궤적은 그림 3(a)과 같이 된다. 즉, 임피던스 궤적이 원점을 향하게 되어 거리계전기가 3상 단락 사고로 오동작 하게 된다.

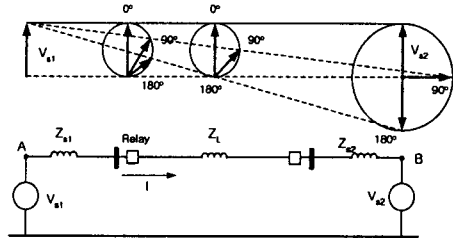


그림 2 전력동요시 2기 등가 회로

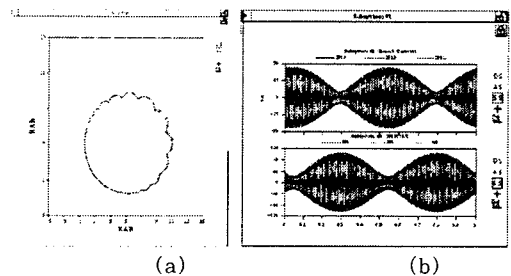


그림 3 계전기 설치점에서 본 피상임피던스(a)와 전압,전류(b)

2.2 Power Swing Blocking

전력동요 차단시험은 swing시 고장검출 계전기가 오동작 하지 않도록 blocking요소가 제대로 동작하는지에 초점을 둔다. 이러한 시험을 위해서는 각 계전기 제조회사의 계전요소의 특성을 이해하고 원하는 방향과 속도로 Swing의 궤적을 구현하여야 한다. 그림 4는 전형적인 전력동요 검출 방법으로서 단락거리계전기 Zone3 밖에 또 하나의 zone(PS)을 설정하여 PS zone과 zone3를 통과하는 순서와 시간(TPSB)으로서 fault와 swing을 구분하는 방법이다.

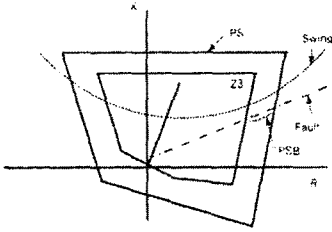


그림 4 전력동요 검출 알고리즘

### 2.3 Power Swing Locus의 중심점과 반경

그림 2에서, 만약,  $V_{S2}$ 를 기준으로 한다면  $V_{S1}$ 은 다음과 같이 표현 할 수가 있다[5].

$$\frac{V_{S1}}{V_{S2}} = ne^{j\theta} \quad (1)$$

여기서,  $n$ 은  $|V_{S1}|/|V_{S2}|$ ,  $\theta$ 는  $V_{S1}$ 과  $V_{S2}$ 의 위상차이다. 발전기 내부 임피던스를 전체임피던스에 포함시키거나 무시한다면, 계전기는 A점에 위치한다고 할 수 있다. 이때,  $n > 1$ 이고, 전체 임피던스  $Z_T$ 는  $Z_L$ 과 같고, 피상임피던스의 궤적이 그림 5와 같을 때, 원의 중심점과 반경은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_R &= Z_T \cos \phi + \alpha \cos \phi \\ C_X &= Z_T \sin \phi + \alpha \sin \phi \\ \alpha &= \frac{Z_T}{n^2 - 1} \\ r &= \frac{nZ_T}{n^2 - 1} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\phi$ 는 선로각이다. Swing의 궤적을 만들기 위해서는 그림 5에서의 양단 전압의 크기의 비인  $n$ 과 전체 선로의 임피던스의 크기( $Z_T$ )와 선로각( $\phi$ )를 구해야 한다.

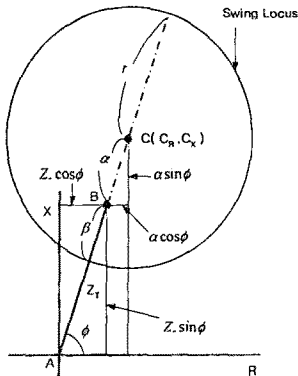


그림 5 Swing의 중심점과 반경

### 2.4 Power Swing Locus의 모델 구현

임피던스 평면상에서, 그림 6에서와 같이 시험하고자 하는 계전기의 특성을 고려하여 궤적이 통과하기를 기대하는 3점을 정한다. 어떤 원이든 3점을 통과하는 원은

유일하기 때문에 하나의 원의 방정식을 유도 할 수 있다. 만약, 3점이  $(R_1, X_1)$ ,  $(R_2, X_2)$ ,  $(R_3, X_3)$  선정되었다면, 원의 방정식은 다음식과 같다.

$$\begin{vmatrix} R^2 + X^2 & R & X & 1 \\ R_1^2 + X_1^2 & R_1 & X_1 & 1 \\ R_2^2 + X_2^2 & R_2 & X_2 & 1 \\ R_3^2 + X_3^2 & R_3 & X_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

원의 방정식이,  $R^2 + X^2 + 2R_0R + 2X_0X + F = 0$ 일 때, 원점은  $(-R_0, -X_0)$  이고, 반경은  $\sqrt{R_0^2 + X_0^2 - F}$ 이다. 이를 이용하여 중심점( $C_R, C_X$ )과 반경( $r$ )을 유도한다.

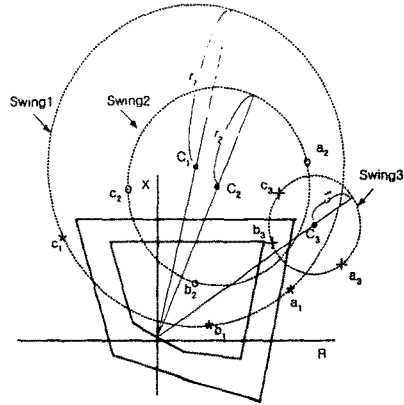


그림 6 Power Swing Locus의 model 선정

$$C_R = \frac{B}{2A}, C_X = -\frac{C}{2A}, F = -\frac{D}{A}, r = \sqrt{C_R^2 + C_X^2 - F} \quad (4)$$

$$A = R_1(X_2 - X_3) + R_2(X_3 - X_1) + R_3(X_1 - X_2)$$

$$B = K_1(X_2 - X_3) + K_2(X_3 - X_1) + K_3(X_1 - X_2)$$

$$C = K_1(R_2 - R_3) + K_2(R_3 - R_1) + K_3(R_1 - R_2)$$

$$D = K_1(R_2X_3 - X_2R_3)$$

$$+ K_2(R_3X_1 - X_3R_1) + K_3(R_1X_2 - X_1R_2)$$

$$K_1 = R_1^2 + X_1^2 \quad K_2 = R_2^2 + X_2^2 \quad K_3 = R_3^2 + X_3^2$$

중심점과 반경을 식(4)를 이용하여 구한 후, 식(2)를 만족하는  $n, Z_T, \phi$ 를 구한다.

$$n = \sqrt{\left(\frac{C_R}{r}\right)^2 + \left(\frac{C_X}{r}\right)^2}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{C_X}{C_R}\right) \quad (5)$$

$$|Z_T| = r \left\{ \frac{\left(\frac{C_R}{r}\right)^2 + \left(\frac{C_X}{r}\right)^2 - 1}{\sqrt{\left(\frac{C_R}{r}\right)^2 + \left(\frac{C_X}{r}\right)^2}} \right\}$$

## 2.5 사례연구

PSCAD/EMTDC를 이용하여 계산된 전압비와 임피던스 그리고 선로각을 이용하여 그림 7의 임피던스 평면상의 3점을 통과하는 Swing을 만들어 본다.

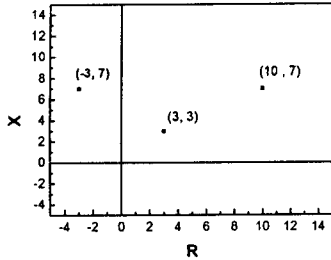


그림 7 Swing Locus가 경유하는 3점

그림 7의 세점(10,7), (3,3), (-3,7)을 통과하는 원의 중심은 (3.5, 10.25)이고 반경은 7.26이다. 이 결과를 구현하고자 하는 계통 파라미터로 환산하고, 임의로 정한 계통 데이터를 추가하면 표 1과 같다.

[표1] Power Swing Model Parameter

Parameter	Value
전압비(n)	1.49
$ Z_T $	5.95
$\phi$	71.14°
R+jX	1.924+j5.635

그림 8은 계산된 데이터를 이용하여 PSCAD/EMTDC 상에서 DRAFT 한 그림이다. 피상임피던스를 계산하기 위해 FFT를 사용하였다. 기준전압  $V_{S2}$ 는 1.0 pu로 하였다.  $V_{S1}$  전압의 위상각에 변동을 주기 위하여  $V_{S2}$ 의 주파수를 60Hz로 하였을 때  $V_{S1}$ 는 59.5Hz로 하였다. 선로 임피던스를 L값으로 환산하여 사용하였다.

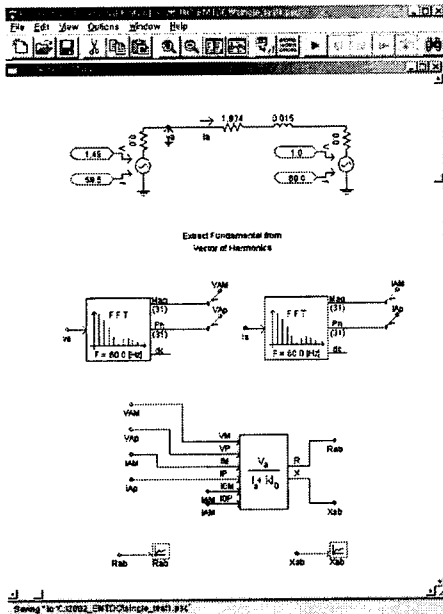


그림 8 PSCAD/EMTDC DRAFT

Simulation 결과 그림 9에서 보여주듯이 피상임피던스의 궤적이 선정한 3점을 경유하는 것을 알 수 있다.

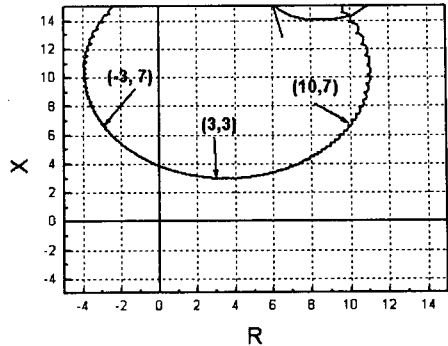


그림 9 Swing시 임피던스 Locus

## 3. 결 론

본 논문은 거리계전기 전력동요 Blocking에 관한 동특성 시험 모델을 개발하였다. 본 논문의 주된 목적은 테스트 하고자 하는 계전기의 설정에 맞는 시험 궤적을 만들고자 함이고 이를 구현하기 위하여 필요한 궤적에 따른 모델 계통의 전압크기와 계통 임피던스를 설정하는 방법을 제시하였다. 제시된 이론적 근거를 토대로 PSCAD/EMTDC의 모델을 이용하여 그 효용성을 입증하였다. 향후 연구과제로 주파수 차이에 따른 임피던스 이동 속도를 유추하여 속도와 궤적을 동시에 결정하는 모델을 개발 할 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] P. G. McLaren, R. Kuffel, R. Wierckx, J. Giesbrecht and L. Arendt, "A Real Time Digital Simulator For Testing Relays", *IEEE Transaction On Power Delivery*, Vol. 7, No.1, January 1992.
- [2] Wei-Jen Lee, Ren-Jun Li and Jyh-cherng Gu, "A Microcomputer-Based Testing Station For Dynamic and Static Testing of Protective Relay System", *Conference Record, Paper Presented at the 1995 Annual Meeting*, 1995.
- [3] Edward Wikson Kimbark, "Power System Stability - Volume II Power Circuit Breakers and Protective Relays", John Wiley & Sons, 1950
- [4] Edith Clarke, *Circuit Analysis of A-C Power Systems*, John Wiley & Sons, 1950.
- [5] 오태규 외, "전력계통의 동기탈조 보호계전장치 적용에 관한 연구" 한국전력공사 기술연구원 1989.