

보호 계전기 동특성 테스트를 위한 임피던스 궤적 모델 개발

論 文

51A-9-5

Development of Impedance Locus Model for Protective Relay Dynamic Test

金 垂 南* · 李 在 奎** · 李 命 洙*** · 劉 錫 九§

(Soo-Nam Kim · Jae-Gyu Lee · Myoung-Soo Lee · Seok-Ku You)

Abstract - This paper presents a method for modelling of the impedance locus in order to test the protective relay with dynamic. This paper has the two parts, the first part is the configuration of impedance locus with voltage magnitude, total impedance magnitude and angle. And the second part is the control of the locus speed with deviation of two frequencies. The proposed method is applied to two machine equivalent system with PSCAD/EMTDC to show its effectiveness.

Key Words : Real Time Digital Simulator (RTDS), Protective Relay Dynamic Test, Out of Step Tripping, Power Swing Blocking, Apparent Impedance Locus, Power System Stability

1. 서 론

복잡화되고 대용량화 되어가고 있는 계통에서 Digital 보호 계전기의 역할이 증가함에 따라 계전기를 계통에 설치하기 전에 해당 계전기의 정확한 동작여부를 판단하는 성능시험의 중요성이 더욱더 강조되고 있다. 이러한 관점에서, 계전기 제조자와 전력운영자들은 real time digital simulator (RTDS) 같은 적절한 도구를 사용하여 계전기의 성능을 시험하고자 하는 연구를 활발히 진행시키고 있다[1]. 보호계전기는 고장 동안 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 발생할 수 있는 연속적인 고장 등을 RTDS와 같은 simulator를 이용하여 시험하는 동특성 시험이 필요하다 하겠다[2].

계통 외란시, 각 발전기의 회전자 속도에 변화가 생기고 이것은 발전기 단자 전압원의 위상각에 변화를 일으켜 두 전압원 사이의 전압 위상각의 차이가 진동하게 된다. 이것을 전력동요(Power Swing)라 하는데 일반적으로 안정적인 동요(Stable Swing 혹은 Power Swing)와 불안정한 동요(Unstable Swing 혹은 동기탈조)로 구분할 수 있다. 보호계전분야에서 동요와 고장을 구분하는 방법은 임피던스 궤적의 움직이는 속도와 위치로 판정을 하고, 보조적인 수단으로 전력동요는 3상 평형 현상으로 영상이나 역상분 전류가 발생하지 않기 때문에 영상이나 역상전류가 흐르면 전력동요 검출

기능을 저지시켜 다른 계전요소로 하여금 고장을 검출하도록 한다[3~6].

전력동요 검출을 위한 방법으로 국내외 보호계전기 제작사마다 고유의 특징을 가지고 있으나 그 본질은 임피던스 궤적의 움직이는 속도와 위치로 판정을 한다. 그러나 각 제작사마다 전력동요의 검출시간이 다르고, 또한 사변형 특성을 사용하느냐 모호형 특성을 사용하느냐에 따라 검출궤적이 다르다. 더욱이 최근에는 동기탈조 검출방법에 있어서 동기탈조 검출영역(Unstable Swing Zone)에 머무를 경우와 그 영역을 들어와서 나갈 경우로 그 검출방법이 다양해지고 있다[7~12]. 따라서 이러한 전력동요 검출 방법의 다양성을 검증할 수 있는 시험방법이 절실히 필요하면서도 현재까지는 이론에 근거를 둔 방법이 제시되지 못하였다. 본 논문에서는 임피던스 궤적의 모양과 임피던스 궤적이 움직이는 시간을 제어할 수 있는 이론에 근거를 둔 방법을 제시하고, 또한 제안된 방법을 PSCAD/EMTDC에 적용하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

2. 전력동요 검출과 동기탈조 계전요소의 동특성 시험

임피던스의 궤적과 속도를 이용하는 계전요소로는 전력동요 검출계전요소와 동기 탈조 계전요소가 있다. 시험하고자 하는 계전기의 타입과 설정치를 결정하면 다양한 방향과 속도의 궤적을 갖는 임피던스를 거리계전기에 인가시켜 저지요소와 차단요소의 동작이 정확한지를 시험해야 한다.

2.1 전력동요 검출 및 저지(Power Swing Blocking)

전력동요 차단 알고리즘은 일반적으로 그림 1과 같이 단락 거리계전기 zone3 밖에 또 하나의 zone(Power Swing zone)을 설정하여 이 PS zone과 zone3를 통과하는 순서와 시간(TPSB)으로서 고장과 동요를 구분하는 방법이다. 따라서, 전력동요 저지에 대한 동특성 시험은 적절한 임피던스의 궤적

* 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 博士課程

** 正 會 員 : 大德大學 專任講師

*** 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 博士課程

§ 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 教授 · T.博

接受日字 : 2002年 6月 4日

最終完了 : 2002年 8月 5日

과 속도를 계전기에 인가하여 전력동요시 고장검출 계전기가 오동작 하지 않도록 저지요소가 제대로 동작하는지에 초점을 둔다. 이러한 시험을 위해서는 각 계전기 제조회사의 계전요소의 특성을 이해하고 원하는 방향과 속도로 임피던스의 궤적을 구현하여야 한다.

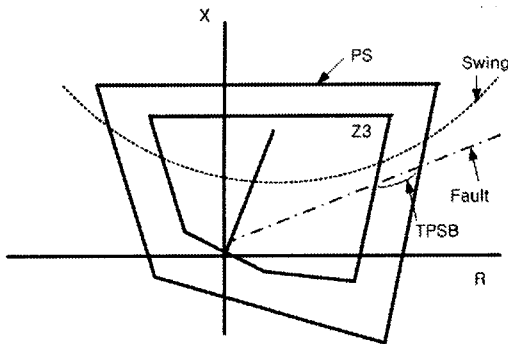


그림 1 전력동요 검출 알고리즘
Fig. 1 General Power Swing Detection

2.2 동기 탈조 차단(Out-of Step Tripping)

동기탈조 계전기(Out-of-Step Relay)는 전력동요 검출 후 안정동요와 불안정동요를 구별한다. 이때 불안정 동요시 계통 분리 정책에 의하여 차단 혹은 저지를 하게 된다. 안정동요인 경우에도 저지를 하지만, 불안정 동요시에도 계통분리 정책에 따라 해당선로의 차단을 막아야 하는 경우가 발생한다. 임피던스 궤적을 이용한 동기 탈조 계전기의 일반적인 알고리즘은 그림 2와 같이 임피던스 R-X평면의 좌우측에 두 개의 blinder 혹은 zone을 설정하고 이 두 개의 설정값을 통과 하는 속도를 이용하여 탈조 여부를 판별한다.

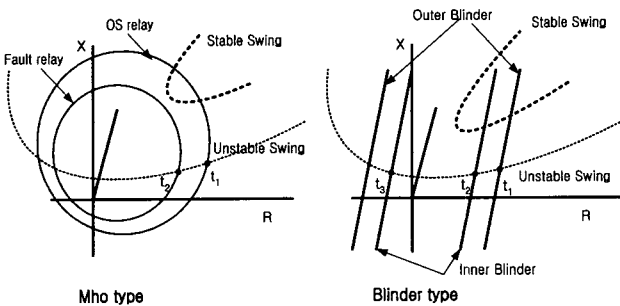


그림 2 동기 탈조 계전 알고리즘
Fig. 2 General Out of Step Algorithms

3. 임피던스 궤적의 구현

계통에서 임피던스궤적을 만드는 방법은 두 전압원의 크기와 선로 혹은 계통 전체 임피던스로 구성될 수 있다. 그림 3에서와 같이 2기 등가 회로에서 계통 외란으로 인해 전압 V_{S1} 의 위상각이 V_{S2} 에 대하여 변화하고 있을때, R-X 평면에서 임피던스의 궤적은 원을 그리게 된다. V_{S1} 전압의 위상이 외란 전 상태에서 벌어지게 되면 전체 선로의 전기적 중성점

에서의 전압은 작아지게 되고, V_{S1} 전압이 180° 벌어지게 되면 전압은 zero 가 된다. 또한 전류는 최대가 되어 계전기가 만약 전기적 중심점 근처에 설치되어 있다면 거리계전기의 피상 임피던스 궤적은 원점 부근을 통과하는 원이 된다. 이러한 임피던스의 궤적을 만들기 위해서, 본 연구에서는 양단 전압의 크기의 비(n)와 전체 선로의 임피던스의 크기($|Z_T|$)와 선로각(ϕ)를 이용한다. 선로각은 R-X평면상의 사사분면 어디에서든 궤적을 구현할 수 있게 하고 임피던스의 크기는 원의 중심과 원점과의 거리를 결정한다. 또한 양단 전압의 크기 비는 곡률반경을 결정함으로써 원의 반지름을 결정하므로 이 3가지 요소만 결정하면 어떠한 궤적도 구현할 수가 있다.

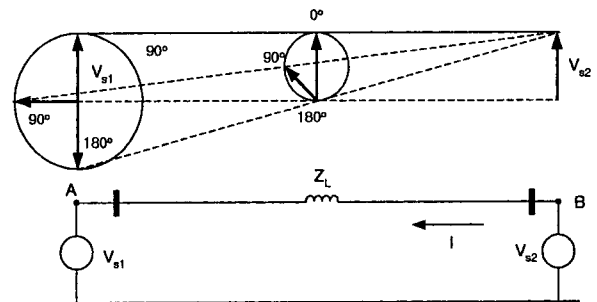


그림 3 전력동요시 2기 등가회로
Fig. 3 Two machine equivalent circuit during swing

3.1 Power Swing Locus의 중심점과 반경

그림 3에서, V_{S2} 전압을 기준으로 하면 V_{S1} 전압은 다음과 같이 표현 할 수 가 있다[5].

$$\frac{V_{S1}}{V_{S2}} = ne^{j\theta} \tag{1}$$

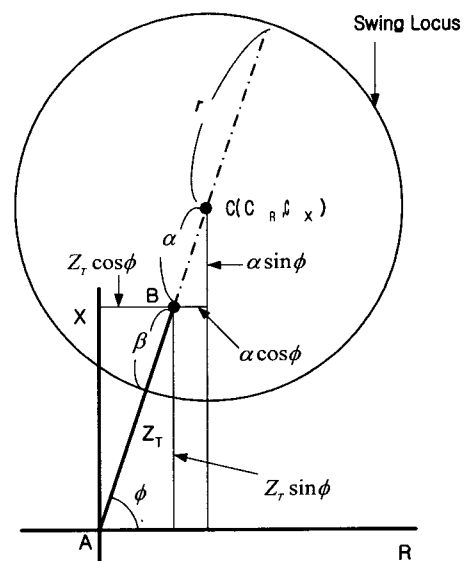


그림 4 임피던스 궤적의 중심점과 반경
Fig. 4 Center and radius of swing locus

여기서, n 은 $|V_{S1}|/|V_{S2}|$, θ 는 V_{S1} 과 V_{S2} 의 위상차 이다. 전압은 발전기 외부 단자전압이라 가정하고 발전기 소스임피던스를 무시한다면 전체 임피던스 Z_T 는 Z_L 과 같다.

이 때, 계전기가 A점에 위치한다고 가정하고, 피상임피던스의 궤적이 그림 4와 같을 때, 원의 중심점과 반경은 다음과 같다. 그림에서 ϕ 는 선로각이다. 전력동요의 궤적을 만들기 위해서는 그림 3에서의 양단 전압의 크기의 비인 n 과 전체 선로의 임피던스의 크기($|Z_T|$)와 선로각(ϕ)를 구해야 한다. 선로각 ϕ 의 범위는 $0\sim 360^\circ$ 이다.

$$\begin{aligned} C_R &= Z_T \cos \phi + a \cos \phi \\ C_X &= Z_T \sin \phi + a \sin \phi \\ a &= \frac{Z_T}{n^2 - 1} \\ r &= \frac{nZ_T}{n^2 - 1} \\ \left(\because \frac{|Z_T| - \beta}{\beta} = \frac{|Z_T| + a + r}{a + r} = n \right) \end{aligned} \quad (2)$$

3.2 Power Swing Locus의 모델 구현

임피던스 평면상에서, 그림 5에서와 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.

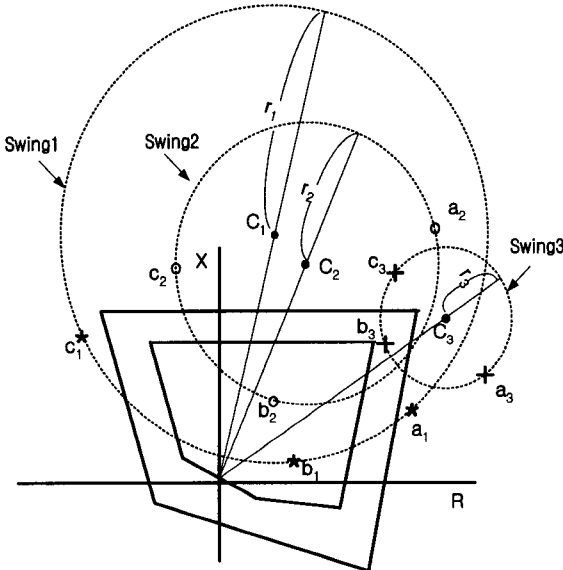


그림 5 Power Swing Locus의 model
Fig. 5 Model of power swing locus

만약, 3점이 (R_1, X_1) , (R_2, X_2) , (R_3, X_3) 선정되었다면, 원의 방정식은 다음식과 같다[13].

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

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.

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

$$\begin{aligned} A &= R_1(X_2 - X_3) + R_2(X_3 - X_1) + R_3(X_1 - X_2) \\ B &= K_1(X_2 - X_3) + K_2(X_3 - X_1) + K_3(X_1 - X_2) \\ C &= K_1(R_2 - R_3) + K_2(R_3 - R_1) + K_3(R_1 - R_2) \\ D &= K_1(R_2X_3 - X_2R_3) + K_2(R_3X_1 - X_3R_1) \\ &\quad + K_3(R_1X_2 - X_1R_2) \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} n &= \sqrt{\left(\frac{C_R}{r}\right)^2 + \left(\frac{C_X}{r}\right)^2} \\ \phi &= \tan^{-1}\left(\frac{C_X}{C_R}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

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

4. 임피던스 궤적의 속도 결정

동기 탈조계전기나 단락계전기 동요차단 알고리즘은 대부분 두 블라인더 사이의 피상임피던스의 궤적의 이동 속도에 따라 동작여부를 결정하게 된다. 이러한 속도정정은 계전기를 설치하고자 하는 계통에 따라 설정값이 달라지게 되고 이렇게 설정된 값에 해당 계전기가 정확히 동작하는지에 대한 시험이 반드시 필요하다 하겠다. 따라서, 피상 임피던스의 궤적의 속도를 적절히 제어할 수 있는 방법이 필요하게 된다.

그러나, 전력동요는 위상차에 의해 발생하고 이 위상차는 두 발전원의 주파수차이에 기인한다. 즉, 계통외란시 발전기가 새로운 운전점에서의 이동시 속도변화를 가져오고 여기에 따라서 위상이 변하게 되는 것이다. 주파수가 다른 두 전압원의 차를 구한다는 것은 페이지 해석이 불가능하므로 사전에 수치적계산이 어렵다. 본 논문은 이를 해결하였는데 두 발전기의 주파수의 차이는 주기적인 위상의 변화를 초래한다는 것에 착안하여 문제를 해결하였다. 즉, 발전기 주파수차($\Delta\omega$)는 두전압원의 위상차(δ)를 주기적으로 반복시킨다. 이 반복되는 위상을 시간에 대한 함수로 변형함으로써 주파수가 다른 두 전압원의 합과 차를 구하였다.

4.1 Power Swing Speed 제어

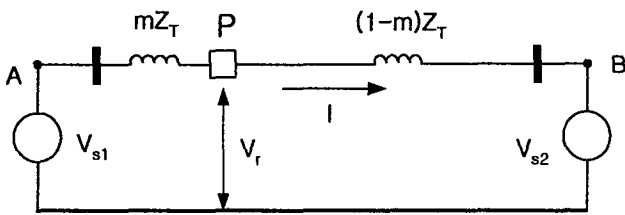


그림 6 2기 계통에서의 계전기 설치점
Fig. 6 Location of relay in 2 machine equivalent circuit

먼저, 양단의 발전원이 외란시 각기 다른 각주파수 ω_1 , ω_2 로 운전하고 있다고 가정하였을 때, 식(6)으로 설정 할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{S1}(t) &= |V_{S1}| \sin(\omega_1 t + \theta_1) \\ V_{S2}(t) &= |V_{S2}| \sin(\omega_2 t + \theta_2) \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)의 두 정현 함수를 페이지로 변환하였을 때, V_{S1} 의 경우는 식(7)로, V_{S2} 의 경우는 V_{S1} 의 ω_1 의 기준으로 식(8)과 같이 변형 할 수 가 있다. 이것은 두 전압원을 한 개의 각주파수를 기준으로 페이지를 표현하기 위함이다.

$$\begin{aligned} V_{S1}(t) &= |V_{S1}| \sin(\omega_1 t + \theta_1) \\ V_{S1} &= |V_{S1}| \angle \theta_1 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{S2}(t) &= |V_{S2}| \sin(\omega_2 t + \theta_2) \\ V_{S2}(t) &= |V_{S2}| \sin(\omega_1 t + (\omega_2 - \omega_1)t + \theta_2) \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)에서, V_{S2} 는 페이지의 형태로 식(9)와 같이 표현 할 수가 있다. 이 것은 V_{S2} 의 전압크기와 위상각을 나타내는 것으로 위상각은 시간에 따른 변동이 있음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{S2} &= |V_{S2}| \angle \delta \\ \delta &= \Delta\omega t + \theta_2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$(\because \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1)$$

여기서, $\Delta\omega$ 는 두 전압원의 각주파수의 차이이다. 그림 6과 같이 거리계전기가 P위치에 있을 경우, 거리계전기가 본 피상임피던스는 식(10)과 같이, 크기와 위상으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_r &= \frac{V_r}{I} \\ Z_r &= |Z_r| \angle \phi_r \end{aligned} \quad (10)$$

이 때, 임피던스 크기 $|Z_r|$ 와 위상각 ϕ_r 은 시간에 따라 변하는 값이다. 계전기에 유입되는 전류는 식(11)과 같고, 전체 임피던스가 Z_T 일 때 위 식(7)과 (9)을 이용하여 두 전압원의 전압차(13)을 구한다.

$$I = \frac{V_{S1} - V_{S2}}{Z_T} \quad (11)$$

여기서, Z_T 를 크기와 위상으로 표현하면 식(12)와 같다.

$$Z_T = |Z_T| \angle \phi_{ZT} \quad (12)$$

$$V_{S1} - V_{S2} = |V_{12}| \angle \theta_{12} \quad (13)$$

식(13)에서, $|V_{12}|$ 와 θ_{12} 는 각각 식(14)와 식(15)이다.

$$\begin{aligned} |V_{12}| &= \sqrt{|V_{S1}|^2 + |V_{S2}|^2 - 2|V_{S1}||V_{S2}| \cos A} \\ A &= \cos \theta_1 \cos(\Delta\omega t + \theta_2) + \sin \theta_1 \sin(\Delta\omega t + \theta_2) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\theta_{12} = \tan^{-1} \frac{|V_{S1}| \sin \theta_1 - |V_{S2}| \sin(\Delta\omega t + \theta_2)}{|V_{S1}| \cos \theta_1 - |V_{S2}| \cos(\Delta\omega t + \theta_2)} \quad (15)$$

P위치에서의 거리계전기가 본 전압은 식(16)과 같다.

$$V_r = (1-m) V_{S1} + m V_{S2} \quad (16)$$

식(7)과 (9)을 이용하여 두 전압원의 합을 구하면 식(17)이 된다.

$$V_r = (1-m)|V_{S1}| \angle \theta_1 + m|V_{S2}| \angle (\Delta\omega t + \theta_2) \quad (17)$$

계전기 위치에서의 전압을 크기와 위상으로 표현하면 식(18)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_r = |V_r| \angle \theta_r \tag{18}$$

여기서, $|V_r|$ 과 θ_r 은 각각 식(19)와 식(20)이다.

$$|V_r| = \frac{\sqrt{(1-m)^2|V_{S1}|^2 + m^2|V_{S2}|^2}}{+2(1-m)m|V_{S1}||V_{S2}|*A} \tag{19}$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \frac{(1-m)|V_{S1}|\sin\theta_1 + m|V_{S2}|\sin(\Delta\omega t + \theta_2)}{(1-m)|V_{S1}|\cos\theta_1 + m|V_{S2}|\cos(\Delta\omega t + \theta_2)} \tag{20}$$

식(9)와 식(11)에서, 식(21)을 유도한다.

$$Z_r = \frac{V_r Z_T}{V_{S1} - V_{S2}} \tag{21}$$

식(21)은 시간에 따라 변하는 임피던스 크기 $|Z_r|$ 와 위상 각 ϕ_r 으로 구성되어 있고 $|Z_r|$ 은 식(12), 식(14)와 식(19)로 구성되어 식(22)와 같다. 또한, ϕ_r 는 식(12), 식(15)와 식(20)로 구성되어 식(23)과 같다. 계산된 임피던스는 크기와 위상 각이 시간에 따라 주기적으로 변하는 값을 알 수 있다.

$$|Z_r| = \frac{|V_r||Z_T|}{|V_{S1}|} \tag{22}$$

$$\phi_r = \theta_r - \theta_{12} + \phi_{ZT} \tag{23}$$

5. 사례연구

5.1 임피던스 궤적을 그리기 위한 계통 파라미터

사례연구로서 시험해야 될 계전기의 특성이 사변형 특성을 가지고 있는 경우 그림 7과 같이 세가지 경우에 대하여 적용하였다. 즉, case1은 unstable swing의 대표적인 예이고, case2는 PS zone과 Zone3를 통과하는 궤적이고, case3은 PS zone만을 거치고 Zone3로 들어오지 않고 다시 돌아나는 stable swing의 궤적이다. 세가지 경우 모두 단락거리계전기 혹은 동기 탈조 계전기의 동작에 영향을 끼치는 궤적들이다. PS zone 사변형의 좌변과 우변의 값을 각각 동기 탈조 계전요소의 outer blinder에, Zone3의 좌변과 우변의 값을 inner blinder라고 취급하면 동기 탈조계전요소에 적용할 수 있다.

그림 7의 임피던스 평면상의 3가지 case의 swing을 만들기 위하여 궤적이 지나가기를 원하는 임의의 세점을 사례마다 각각 정한다. 그림 8은 사례마다 임의로 정한 세 점의 위치를 보여준다. 표 1은 각 사례마다 세 점의 좌표와 식(4)를 이용하여 세 점을 통과하는 원의 중심과 반경을 구한 결과이다.

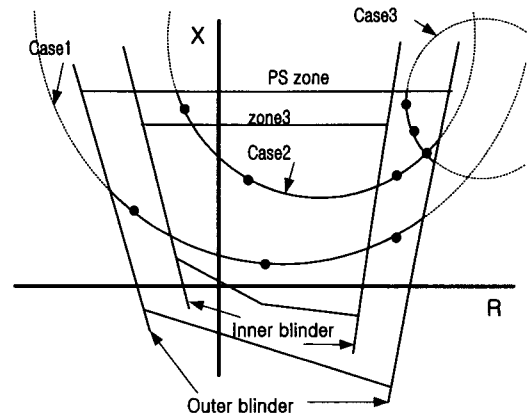


그림 7 시험 대상인 임피던스 궤적들
Fig. 7 Impedance swing loci for test

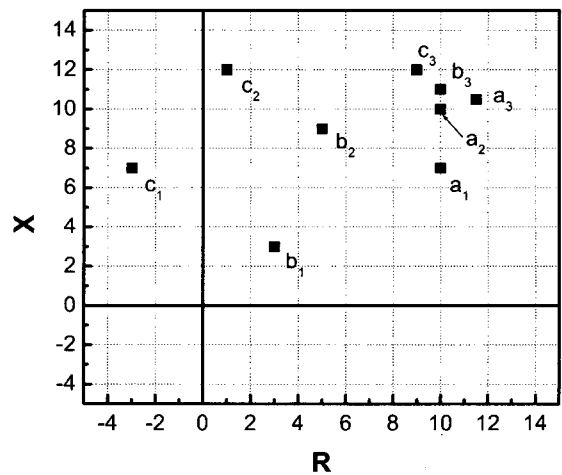


그림 8 Swing Loci 가 경유하는 세점들
Fig. 8 Swing loci via three points

표 1 시험하고자 하는 임피던스궤적의 원점과 반경

Table 1 Center and radius of impedance swing loci to test

	Point(a) (R ₁ ,X ₁)	Point(b) (R ₂ ,X ₂)	Point(c) (R ₃ ,X ₃)	Center (C _R ,C _X)	Radius (r)
Case1	(10, 7)	(3, 3)	(-3, 7)	(3.5, 10.25)	7.26
Case2	(10, 10)	(5, 9)	(1, 12)	(6.39, 15)	6.19
Case3	(11.5, 10.5)	(10, 11)	(9, 12)	(11.75, 13.75)	3.26

계산된 중심점과 반경을 이용하여 식(5)를 이용하여 선로의 임피던스와 선로각 그리고 전압비를 계산한 결과이다. 선로 임피던스를 계통 파라미터를 환산하기 위해 R값과 X값으로 환산하였다.

표 2 임피던스 궤적에 대한 계통변수

Table 2 Impedance swing model parameter

Parameter	Case 1	Case2	Case3
전압비(n)	1.49	2.64	5.55
$ Z_T $	5.95	13.99	17.45
Ψ	71.14°	66.95°	49.48°
R+jX	1.924+j5.635	5.48+j12.87	11.37+j13.3

그림 9는 Case1의 경우 계산된 데이터를 이용하여 PSCAD/EMTDC 상에서 DRAFT 한 그림이다. 피상임피던스를 계산하기 위해 FFT를 사용하였다.

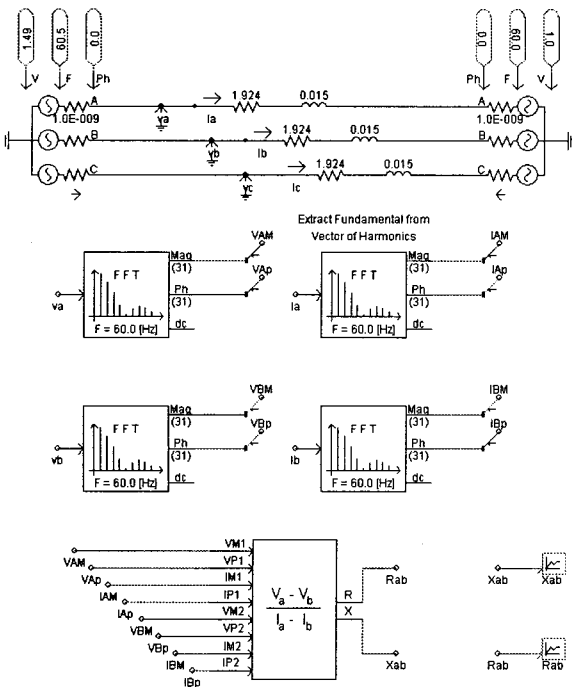
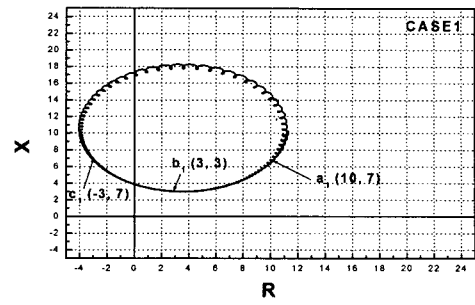
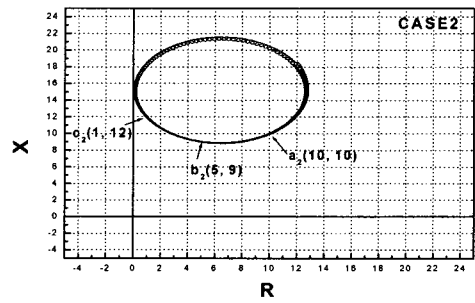


그림 9 PSCAD/EMTDC DRAFT
Fig. 9 PSCAD/EMTDC DRAFT

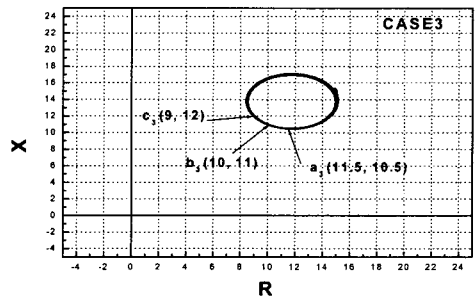
기준전압 V_{S2} 은 1.0 pu로 하였다. V_{S1} 전압의 위상각의 변동을 주기 위하여 V_{S2} 의 주파수를 60Hz로 하였을 때 V_{S1} 는 60.5Hz로 하였다. 선로 임피던스를 L값으로 환산하여 사용하였다. 그림 10은 세 가지 사례에 따른 임피던스 궤적을 보여준다. Simulation 상태에서 초기 과도상태인 0.1s를 지난 후부터의 궤적을 나타냈다. 피상임피던스의 궤적이 선정한 3점을 경유하는 것을 알 수 있다. 궤적은 원점을 향하여 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하고 있다. 이것은 V_{S1} 는 60.5Hz로 하였기 때문인데, 만약, V_{S1} 는 60Hz로 하고, V_{S2} 를 60.5Hz로 하면 방향은 반대가 된다.



(a)



(b)



(c)

그림 10 PSCAD/EMTDC로 구현한 swing locus
Fig. 10 Swing Locus with PSCAD/EMTDC

5.2 임피던스 궤적의 속도를 결정하기 위한 주파수제어

시간에 따른 임피던스의 궤적의 변화를 관찰하기 위해 C-language를 이용하였다. 만약 두 전압원의 각주파수의 차이($\Delta\omega$)가 일정하다면, 위상차는 주기적으로 변하므로 임피던스의 크기와 위상각은 일정한 주기로 변한다. 그림 11은 case1의 경우, 시간에 따른 임피던스의 크기변화를 나타낸 것이고, 그림 12는 임피던스 위상각의 변화를 나타낸 것이다. 두 전압원의 주파수 차이(Δf)를 0.5Hz로 하였을 때의 경우로서 이것을 R-X 평면상에 투영하였을 때 원을 형성하게 된다. 결국 계전기 설치점에서의 임피던스는 어떤 형태로든 양단 전압의 차를 계산하여야 하고 이 과정에서 두 전압원의 주파수의 차이가 일정하다면 임피던스 변화는 시간에 따라 주기적으로 변화하고 있다는 것을 알 수 있다.

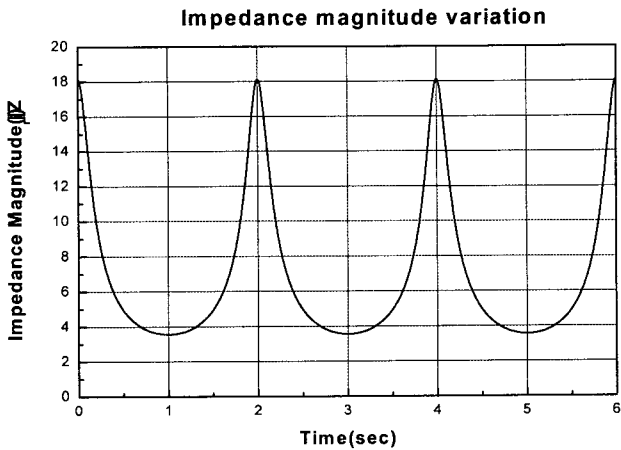


그림 11 시간에 따른 임피던스 크기의 주기적 변화
 Fig. 11 Periodic change of magnitude of impedance as time

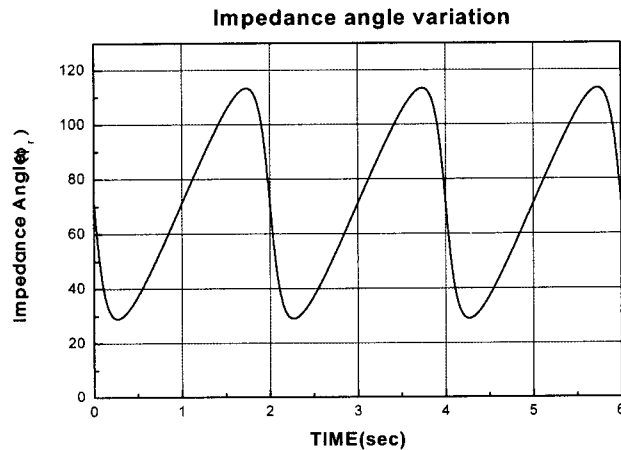


그림 12 시간에 따른 임피던스 Angle의 주기적변화
 Fig. 12 Periodic change of impedance angle as time

EMTDC 출력 데이터와 계산된 임피던스의 궤적을 비교하여 제안된 계산방법이 정확한지를 확인하고자 한다. 계전기 시험자는 임피던스 궤적이 특정 구간을 통과 할때 걸리는 시간을 두 전압원의 주파수로 미리 결정함으로써 전력동요 차단이나 동기 탈조 계전요소의 동특성 시험을 할 수 있다. 표 3은 EMTDC Simulation 조건들을 나타내고 있다.

표 3 EMTDC 모의 조건
 Table 3 EMTDC Simulation properties

Duration of Run	6 (s)
EMTP time step	50 (μs)
PSCAD plot step	1000(μs)

R-X 평면상에서의 R 값의 변화와 X 값의 변화를 제안된 방법으로 계산된 값과 EMTDC로 Simulation 한 값을 비교하

였다. EMTDC상에서 초기 과도상태를 지난 뒤부터의 값들이 거의 일치함을 알 수 있다. 이 값들은 주기적이기 때문에 동특성 시험시 PSCAD/RTDS runtime상에서 정상상태 이후에 시험함으로써 가능하다. 그림 13은 R 성분값의 변화이고 그림 14는 X 성분값의 변화이다.

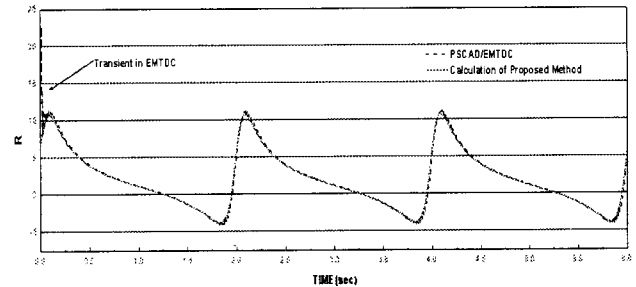


그림 13 계전기 설치 위치에서 임피던스의 시간에 따른 R 성분의 변화

Fig. 13 Change of R component of impedance as time at the position of relay

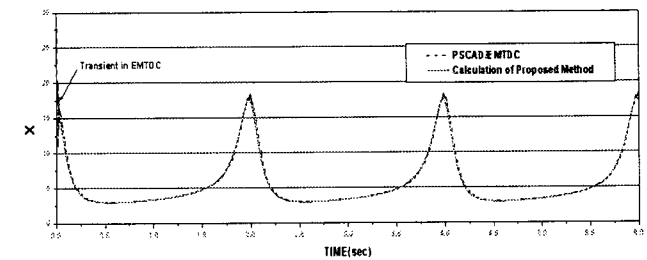


그림 14 계전기 설치 위치에서 임피던스의 시간에 따른 X 성분의 변화

Fig. 14 Change of X component of impedance as time at the position of relay

만약 전력동요 차단 시험시 계전기 설정치가 R값이 6[Ω]에서 4[Ω]으로 약 2[Ω]변할 때 걸리는 시간이 50ms 보다 빠르게 움직인다면 fault로 인식하고 차단명령을 내보내고 그 보다 느리게 움직인다면 전력동요중이라고 판단하여 저지신호를 출력하게 되어 있다면, 계전기 시험자는 6[Ω]에서 4[Ω]으로 궤적이 통과하게끔 만들어야 하고 또한 시간적으로 50ms 보다 빠른 궤적과 느린 궤적을 만들어 시험하여야 한다.

따라서, 이 경우 제안된 방법을 이용한다면 그림 15의 사례1에서와 같이 궤적의 R값이 약 10[Ω]에서 -3[Ω]으로 변하게 궤적을 구현하고, 이 궤적이 6[Ω]에서 4[Ω]을 통과하는 시간이 50ms가 되기 위한 주파수차이 값이 1.6Hz임을 계산으로 구해낸다. 또한 50ms 주변의 값들의 주파수차이를 계산하여 사전에 계산된 전원 주파수를 양단전압에 인가하여 계전기의 정부동작의 시험을 할 수 있다. 그림 16은 두 설정치 사이를 통과 할 때 각기 다른 주파수 값으로 계산된 속도를 보여준다. 주파수 차이가 클수록 임피던스 변화의 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

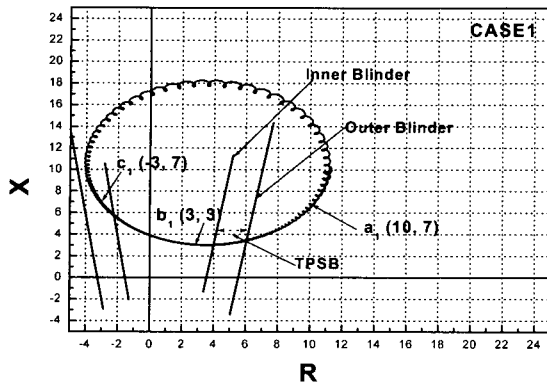


그림 15 두 blinder를 통과하고 있는 임피던스 궤적
Fig. 15 Impedance locus passed the two blinder

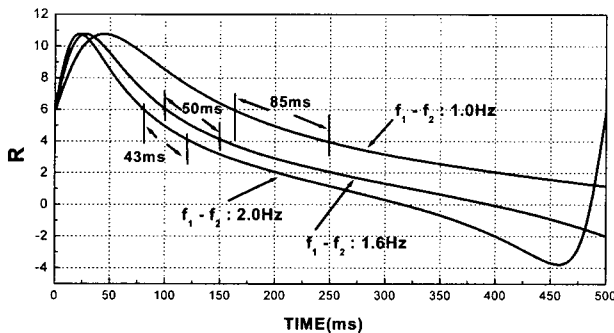


그림 16 주파수 차이에 따른 임피던스 변화 속도
Fig. 16 Speed of impedance swing locus as deviation of frequency

6. 결 론

본 논문에서는 전력동요 검출과 동기 탈조 계전요소에 대한 동특성 시험을 하기 위해서 임피던스 궤적의 모양과 움직이는 시간을 임의적으로 변화 또는 제어할 수 있는 이론에 근거를 둔 방법을 제시하였다. 이 방법은 임피던스 R-X평면 상에서 특정 구간을 이동하는 궤적을 선정하는 방법과 임의의 두 구간을 통과할 때 사전 설정된 속도의 궤적을 만드는 것에 주안점을 두는 것으로, 계통에서 궤적의 모양을 만드는 방법은 두 전압원의 크기와 계통 전체 임피던스로 구성되고, 궤적의 속도는 두 전압원의 주파수차이에 의해 결정된다. 이때 계통에 흐르는 전류와 계전기 설치점에서의 전압을 구하기 위해서는 주파수가 다른 두 개의 전압원의 차를 계산하여야 한다. 일반적으로 주파수가 다른 두 개의 정현함수의 계산은 페이지를 사용할 수 없으므로 계산이 어렵다. 이러한 어려움을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 두 전압원의 위상 변화는 주기적으로 변하는 점에 착안을 하여 주파수차이에 의한 궤적변화의 속도를 계산하였다.

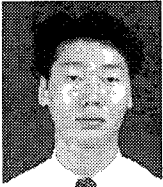
제시된 이론적 방법의 타당성을 검증하기 위하여 PSCAD/EMTDC(Electro-Magnetic Transient DC)의 고장데이터를 이용하여 일치함을 검증하였다. 따라서 제시된 방법을 이용하여, 시험하고자 하는 계전기의 검출방법(사변형 혹은 모호형)과 설정치가 결정되면 시험하기 위한 임피던스 궤적의 다양한 속도와 모양을 생성할 수 있어 전력동요 검출과 동기탈조 계전요소의 특성을 시험할 수 있다.

향후 연구는 제시된 이론에 근거를 둔 방법을 PSCAD/RTDS에 구현하여 전력동요 검출과 동기탈조 계전요소에 대하여 실시간 응용특성 시험할 수 있도록 구현하고자 한다.

[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.
- [6] "보호계전기 시험기준 수립에 관한 연구-중간보고서" 한국전력공사 기술연구원, 2001.8
- [7] ABB, "REL521 User's Guide", 1996.
- [8] GE, "DLP-Digital Line Protection", 1997
- [9] Mitsubishi, "Instruction Manual Digital Distance Relay Scheme Type MDT-F", Ver. F, 1999.
- [10] Toshiba, "Numerical Distance Relay Type GRZ -100"
- [11] GE, "Application of Out-of-step Blocking and Tripping Relays"
- [12] "Digital 보호계전기 시험법" 부산전력거래처 2000.
- [13] Daniel Zwillinger, "Standard Mathematical Tables and Formulae 30th edition" CRC Press, 1996
- [14] James S. Thro and Arun G. Phadke, Computer Relaying For Power Systems, Research Studies Press LTD, 1988.
- [15] Stanley H.Gorowitz and Arun G. Phadke, Power System Relaying, Research Studies Press LTD, 1995.

저 자 소 개



김수남 (金垂南)

1969년 6월 2일생. 1996년 한양대공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 031-400-4040

E-mail : stability2000@hotmail.com



이명수 (李命洙)

1972년 3월 15일생. 1996년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999~2000년 (주) 한우테크 기술연구소 연구원, 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

E-mail : relay21@ihanyang.ac.kr



이재규 (李在奎)

1962년 8월 10일생. 1986년 영남대 전기공학과 졸업. 1990년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 박사과정 수료. 1989~1999년 LG산전 연구소 선임연구원. 현재 대덕대학 전임강사

E-mail : leeig@mail.ddc.ac.kr



유석구 (劉錫九)

1938년 10월 31일생. 1961년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 한양대 공대 전기공학과 교수. 1996년 당학회 회장

E-mail : skyou@mail.hanyng.ac.kr