

창립
40주년학술대회
논문 87-M-21-2

선로고장시 발생하는 잡음의 시뮬레이션

신 명 천
성균관대학교 교수

김 무 용
대림공전대 교수

김 철 환
성균관대학교 대학원

The Simulation of Transmission Line Fault-Induced Noise Signals.

Myung-chul Shin
Sung Kyun Kwan univ.

Mu-woong Kim
Dae Lim technical college.

Chul-hwan Kim
Sung Kyun Kwan univ.

Abstract

A more specialized area of transient evaluations is transmission line fault-detecting and protection systems. During the first cycle or two following a power system fault, a high-speed protective relay is expected to make a decision as to the severity or location of the fault, usually based on 60 Hz information, i.e. the phase and magnitude of 60 Hz voltage or current signals. It is precisely at this time however that the signal is badly corrupted by noise, in the form of a dc offset or frequencies above 50 Hz.

One of several possible sources of transients in protection measuring signals is in the primary system for which protection is required in its response to the impact of short circuit fault on-set. Other sources are in the primary voltage and current transducers from which protection signals are derived, and, often of particular importance, in the interface circuits between the transducer secondaries and the comparator and measuring elements of the protection system. However, the noise signals that will be described in this paper are due to the main power system only and do not include errors due to current or voltage transducers.

1. 서론

전력계통 전자과도현상 해석 (electromagnetic transient analysis) 의 주요한 응용 분야 또는 계통상태 (system conditions) 즉, 계통전압이 정격전압 보다 높게 인가되지 않거나 또는 차단기가 스위칭동작에 의해 영향을 받지는 않나 하는 등을 평가하는 부분이며, 과도현상 분석(1) 의 더욱 전문화된 부분으로 송전선로 고장검출 (fault-detecting) 과 계통보호 분야이다.

선로고장 발생위 1 - 2 사이클동안 고속보호 계전기는 기본파 전압, 전류의 크기와 위상을 이용하여 고장점을 식별하여, 고장구간을 견전 구간으로 부터 분리하여야 한다. 그러나, 이때 신호는 dc offset 성분과 기본파이외의 고조파 등과 같은 잡음 (noise) 이 많이 포함되어 있다. 그러므로, 보호계전기의 응답시간을 감소시키기 위해서는 측정신호의 과도성분해석이 요구 된다. 측정신호의 과도성분 발생원은 고장 발생순간에 영향을 미치는 피보호 대상이며, 다른 하나는 신호를 받아들이는 CT, PT, 그리고 이들 2차측과 보호계통사이의 인터페이스 회로들이다. 이들을 포괄적으로 해석하기 위해서는 피보호계통 부분의 전자과도현상 모델(2) 과 CT, PT 와 그들 2차측의 과도현상 표현이 요구 된다. 그러나, 본 연구에서는 피보호대상으로 송전선로만을 선택대상으로 하며, 디지털 컴퓨터 해석 방법인 주파수 영역해석법 (frequency-domain analysis) 을 이용하여 선로고장시 잡음(3) 의 autocorrelation function, variance 등을 구하여 잡음신호를 분석하므로써, (4), (5) 예측이론이나 통계학적 방법(6), (7) 을 이용한 디지털 보호계전 (computer relaying) 의 토대를 마련하고자 한다.

2. 선로고장에 의한 잡음의 모델링

2-1. 송전선로의 주파수 영역 모델링

송전선로로부터 거리가 x인 선로상에서 길이 Δx 인 부분의 등가회로 표현을 나타내 보자. 각 상에서의 도선들은 각 상당 단독체인 것으로 하고, 전압, 전류변수들의 표현은 a, b, c 상으로 한다. 전압과 전류벡터는 식(1)과 같으며,

$$V^p(w, x) = \begin{bmatrix} Va(w, x) \\ Vb(w, x) \\ Vc(w, x) \end{bmatrix}, I^p(w, x) = \begin{bmatrix} Ia(w, x) \\ Ib(w, x) \\ Ic(w, x) \end{bmatrix} \quad (1)$$

윗 식에서 첨자 P는 이들 변수들이 상좌표계(phase co-ordinates)(8)로 표현 되었음을 의미한다. Δx 부분을 호르는 전압과 전류를 $\Delta V^P(w, x)$ 과 $\Delta I^P(w, x)$ 로 나타내면 식(2)와 같다.

$$\Delta V^P(w, x) = \begin{bmatrix} \Delta V_a(w, x) \\ \Delta V_b(w, x) \\ \Delta V_c(w, x) \end{bmatrix}, \Delta I^P(w, x) = \begin{bmatrix} \Delta I_a(w, x) \\ \Delta I_b(w, x) \\ \Delta I_c(w, x) \end{bmatrix} \quad (2)$$

선로의 단위길이당의 직렬 임피던스 행렬과, 병렬 어드미턴스 행렬을 $Z^P(w)$ 와 $Y^P(w)$ 로 하면, 전압과 전류의 변수는 식(3)과 같이 되며,

$$\begin{aligned} \Delta V^P(w, x) &= -Z^P(w) \Delta x I^P(w, x) \\ \Delta I^P(w, x) &= -Y^P(w) \Delta x V^P(w, x) \end{aligned} \quad (3)$$

$\Delta x \rightarrow 0$ 이라고 하면 식(3)은 다음 식과 같은 미분형으로 표시될 수 있다.

$$\frac{\partial V^P(w, x)}{\partial x} = -Z^P(w) I^P(w, x) \quad (4)$$

$$\frac{\partial I^P(w, x)}{\partial x} = -Y^P(w) V^P(w, x) \quad (5)$$

윗 식들을 미분하여 정리하면,

$$\frac{\partial^2 V^P(w, x)}{\partial x^2} = Z^P(w) Y^P(w) V^P(w, x) \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 I^P(w, x)}{\partial x^2} = Y^P(w) Z^P(w) I^P(w, x) \quad (7)$$

와 같고, 변환(modal transformation)을 위해 식(8)을 이용하면,

$$V(w, x) = \begin{bmatrix} V_0(w, x) \\ V_1(w, x) \\ V_2(w, x) \end{bmatrix}, I(w, x) = \begin{bmatrix} I_0(w, x) \\ I_1(w, x) \\ I_2(w, x) \end{bmatrix} \quad (8)$$

변환관계는 다음과 같다.

$$V^P(w, x) = C1(w) V(w, x) \quad (9)$$

$$I^P(w, x) = C2(w) I(w, x) \quad (10)$$

식(6)과 식(7)에서 이들 변환관계를 이용하면,

$$\frac{\partial^2 V(w, x)}{\partial x^2} = \lambda^2(w) V(w, x) \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 I(w, x)}{\partial x^2} = \lambda^2(w) I(w, x) \quad (12)$$

여기서,

$$\lambda^2(w) = C1^{-1}(w) P(w) C1(w)$$

$$\lambda^2(w) = C2^{-1}(w) P(w) C2(w)$$

이며, $C1(w)$ 와 $C2(w)$ 는 $P(w)$ 와 $P^T(w)$ 의 고유벡터들의 행렬이다. 그러므로, 주파수 영역에서의 2계 표현식은 식(13)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V(w, x)}{\partial x^2} &= \lambda^2(w) V(w, x) \\ \frac{\partial^2 I(w, x)}{\partial x^2} &= \lambda^2(w) I(w, x) \end{aligned} \quad (13)$$

그러므로, 식(13)은 식(14)와 식(15)로 표현(1) 될 수 있으며,

$$V(w, x) = \exp\{-\lambda(w)x\} A(w) + \exp\{\lambda(w)x\} B(w) \quad (14)$$

$$Z(w)I(w, x) = \exp\{-\lambda(w)x\} A(w) - \exp\{\lambda(w)x\} B(w) \quad (15)$$

이 식에서 벡터 $A(w)$ 와 $B(w)$ 는 정해진 경계조건으로부터 구해지며, $Z(w)$ 는 서지 임피던스 행렬이다.

2 - 2. 잡음의 autocorrelation

전압, 전류신호의 autocorrelation function은 다음 식으로 표현된다.

$$\phi_{XX}(\tau) = E[X(t)X(t+\tau)] \quad (16)$$

K 개의 고장점에서 발생된 K 잡음신호를 고려하면, autocorrelation function은 (17) 식과 같이 된다.

$$\phi_{XX}(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K X_j(t) X_j(t+\tau) \quad (17)$$

2 - 3. 잡음의 Variance

전압, 전류신호의 Variance는 1선지락, 2선지락, 선간단락, 3상고장등의 각 고장에 대해 K개의 데이터들을 이용하여 다음 식과 같이 표현된다.

$$VAR(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K (X_j(\tau))^2 \quad (18)$$

3. 실험 방법

선로고장시 발생하는 잡음을 시뮬레이션하기 위해 400 KV, 160 KM의 가공송전선로를 실험대상으로 택했다.

전자과도현상해석 프로그램인 EMTP(Electromagnetic Transients Program) (9)의 보조루틴 가운데 "Line Constants" 루틴을 이용하여 선로정수를 구하고, 분포정수 선로에 대한 주파수 의존성을 고려하기 위해 여러 모델중 최근에 EMTP에 이용된 Marti's Model의 루틴을 이용하여, 선로를 모델링 한뒤 이들로 부터 선정된 수치로 입력데이터를 작성하여 결과를 얻었다.

(8) 신 명 철, 김 무 용, "상파포계를 이용한 불평형 전력계통의 해석방법", Journal of KIEE., Vol.35, No.11, 1986. pp. 32-41.

(9) EMTP Rule Book, BPA, Apr 82.

4. 결 론

전력계통의 선로고장시 발생하는 기본파 전압, 전류에 중첩되는 비기본파 성분들을 잡음성분으로 정의하였으며, 디지털 보호계전 알고리즘 개발의 목적에 활용되는 전압, 전류 잡음신호의 autocorrelation function 과 Variance 등을 산출하였다.

참 고 문 헌

- (1) W.Derek Humpage, "Z-transform Electromagnetic Transient Analysis in High-Voltage Networks", IEE Power Engineering series 3, 1982, pp. 1-75.
- (2) M.chen and W.E.Dillon, "Power System Modelling", proc.IEEE, vol.62,no.7,1974, pp.901-915.
- (3) G.W.Swift,"The Spectra of Fault-Induced Transients",IEEE Trans.PAS,vol.PAS-98, NO.3,1979,pp. 940-947.
- (4) R.C.Brown,"Random Signal Analysis and Kalman Filtering",John Wiley and Sons, 1983,pp. 1-146.
- (5) A.A.Girgis and R.C.Brown,"A Quantitative study on Fault Induced Noise Signals", IEEE Int.Conf. on Electric Energy ,April 1981, pp.57-65.
- (6) T.Sakaguchi, "A Statistical Decision Theoretic Approach to Digital Relaying", IEEE Trans. PAS,vol.PAS-99,no.5,1980, pp.1918-1926.
- (7) A.A.Girgis and R.C.Brown, "Application of Kalman Filtering in Computer Relaying", IEEE PES Winter Meeting, 1981.no.81 WM218-7, pp.1-9.