

Fourier 급수를 이용한 송전선로의 고장점 추정 알고리즘
 An Algorithm on the Estimation of the Fault Location
 in Transmission Line using Fourier Series.

신 명철	성균관대학교 교수
김 무웅	대림공전대 교수
김 철환*	성균관대학교 대학원

1. 서론

전력계통이 점차 대응량화, 고압화됨에 따라 고장시의 과급효과는 매우크므로, 안정된 전력공급을 위해서는 신속하게 고장점을 추정하여 회복시켜 주는 것이 필요하다.

송전선 보호알고리즘(1)은 계통정수를 이용한 방법(2,3), 기본파를 이용한 방법, 기본파와 과도파를 이용한 방법이 있으며, 이 중 기본파에 의한 송전선 보호 알고리즘은 직교변환(orthogonal transform)이론에 의하며, 직교함수로 Sine 과 Cosine 함수를 이용하는 Fourier 변환이론이 널리 이용되고 있다.

그때의 어떤함수는 Fourier 변환(4)의 기본적인 성질인 Convolution과 Correlation을 이용하여 입력신호로부터 특정 주파수 성분을 추출할 수있다. 송전선로의 고장점을 추정하기 위해 이용되는 전압과 전류의 파형에는 많은 고조파 성분이 포함되어 있다.

그러므로, 전압과 전류파형의 고조파성분을 분리하여 기본파성분만을 추출할수 있는 Fourier 변환방법은 오차를 감소시킬 수 있으므로, 고장점 추정에 유용(5)하다.

또한, 유도된 식들은 Continuous 또는 Discrete Fourier 변환들로 구분되는데, 송전선로에 고장발생시 얻은 전압과 전류는 연속적인 파형

인 경우, 즉 Continuous Fourier 변환인 경우이므로, Fourier 급수를 이용한 수치적분(numerical integration)방법을(6,7) 이용하였다.

본 연구에서는 이와같은 Fourier 급수 해석 방법을 이용하여 모의송전선로에서 실제고장을 발생 시켰을때의 전압과 전류의 파형을 Sampling(5)한 샘플치로 임피이던스들 계산함으로써 고장점에 대한 거리를 추정하였으며 이 실험결과를 제시하였다.

2. 비정현파의 Fourier 급수에 의한 전개

고장시의 전압과 전류의 파형은 비정현파로 주어지는데, Fourier 급수로 전개하기 위해서는 디리끄레 조건(dirichlet condition)을 만족하는 주기파이어야 하나, 공학적으로 문제되는 대부분의 비정현파는 이 조건을 만족하고 있다.

비정현파가 주어지면, 주기와 각주파수 ω 를 알수 있으므로 Fourier 급수의 각 계수를 구하는 것이 문제가 된다.

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t) \quad (1)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos n\omega t d(\omega t)$$

(n=1,2,3,.....)

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin n\omega t d(\omega t)$$

(n=1,2,3,.....)

그러나, 실제 회로에서의 파형들은 f(t)가 정확한 수학적 표현을 갖지 않으므로, 근사적 방법인 수치적분(numerical integration)을 이용하여 Fourier 급수의 각 계수를 구하여야 한다.

식 (2), (3)에서 $\omega t = x, f(\omega t) = f(x)$ 라 놓으면, A_n 은 $f(x) \cos nx$ 의 파형, B_n 은 $f(x) \sin nx$ 의 파형을 구하면 되고,

$$A_0 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m f(x_k)$$

$$A_n = \frac{2}{m} \sum_{k=1}^m \{f(x_k) \cos(n \frac{2\pi k}{m})\}$$

$$B_n = \frac{2}{m} \sum_{k=1}^m \{f(x_k) \sin(n \frac{2\pi k}{m})\}$$

가 되며, 입력파형 f(x)에 따라,

$$A_1 = \frac{2}{m} \sum_{k=1}^m f(x_k) \cos \frac{2\pi k}{m}$$

$$B_1 = \frac{2}{m} \sum_{k=1}^m f(x_k) \sin \frac{2\pi k}{m}$$

와 같으며, 임피던스는 다음과 같다.

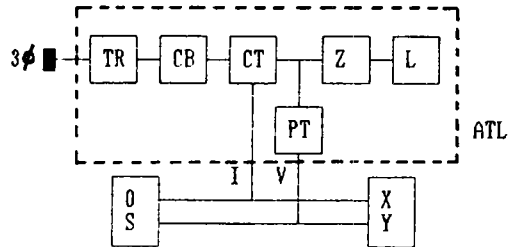
$$Z = \frac{V}{I} = R + jX$$

$$= \frac{V_{A1} I_{A1} + V_{B1} I_{B1}}{I_{A1}^2 + I_{B1}^2} + j \frac{V_{A1} I_{B1} + V_{B1} I_{A1}}{I_{A1}^2 + I_{B1}^2}$$

3. 실험 및 결과

본 논문에서는 실험을 위하여 日本 Keihin DENSOKKI사의 154KV, 60MVA, 200KM 모의 송배전선로를 사용했다.

이때 모의 송전선로상의 50KM, 100KM, 150KM, 200KM 지점에서 각각 여러형태의 고장을 발생시킬 수 있도록 하였으며, 그 간략한 Block Diagram은 그림 1과 같다.



- ATL : 모의 송배전선로
- TR : 변압기
- CB : 차단기
- CT : 변류기
- PT : 계기용 변압기
- Z : 선로 임피던스
- L : 부하
- OS : OSCILLOSCOPE
- XY : X-Y Recorder

Fig.1. Block Diagram

모의 송전선로상에서 발생한 고장의 형태는 다음과 같으며,

- (1). 1선지락 고장(line-to-ground fault)
- (2). 2선지락 고장(double line-to-ground fault)
- (3). 3선지락 고장(three-phase-to-ground fault)
- (4). 선간단락 고장(line-to-line fault)
- (5). 3선단락 고장(three-phase fault)

각 고장발생시 얻은 전압과 전류의 파형은 12번의 Sampling을 한 샘플치로서 임피던스 계산을 하여 실제 모의 송전선로상의 임피던스와 비교하였다. 임피던스 계산을 위해 취한 Data Window는

1 Cycle인, 즉 One Cycle Scheme 을 택하였으며, 샘플링율(sampling rate)이 12회 이므로, 정상상태의 파형부터 고장이 발생한 과도상태의 파형까지 전압과 전류 각각 12개씩의 Data를 연속적으로 반복하며 처리하여, 임피던스 값을 산정하였다.

아울러, 이와같은 실험은 50KM, 100KM, 150KM, 200KM 각 구간에 대해 5가지 고장을 발생시켜 전체 20번의 실험을 하여 얻은 Data를 비교, 검토 하였다.

그림2는 3선지락 고장시 Oscilloscope로 잡은

전압, 전류의 파형(8)이며, 그림3은 1선지락
고장시의 전압, 전류의 파형이다.

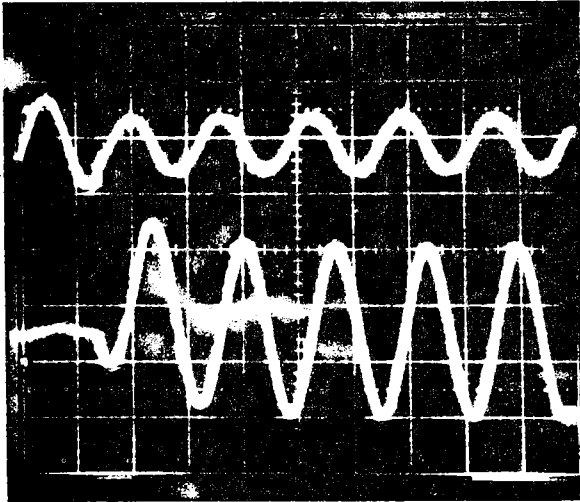


Fig.2. 3선지락 고장시 전압과 전류의 파형
50 [V/div], 2[A/div]

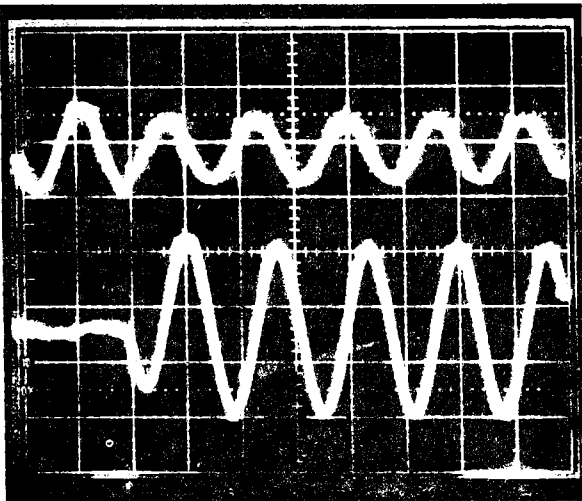


Fig.3. 1선지락 고장시 전압과 전류의 파형.
50 [V/div], 2[A/div]

4. 결론

본 연구에서 제시된 Fourier 급수를 이용한 고장점 추정 알고리즘에 의하면, Relaying Point의 전압과 전류 파형만으로 간단히 고장점을 찾아낼 수 있음을 보였고, 이들의 결과는 매우 만족스러워 실계통에 적용 가능할 것이다.

따라서, 송전선로의 고장발생시 사고의 확대를 방지하고, 전전구간을 사고구간으로 부터 보호 함으로써, 전력공급의 신뢰도를 향상시키는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고 문헌

- (1). 申明澈, "Digital Relaying 의 기술동향", Journal of the KIEE, Vol. 35, pp. 19-23, Feb. 1986
- (2). G.B. Gilcrest et al., "High speed distance relaying using a digital computer, I and II", Vol. PAS-91, No. 3, pp. 1235-1258, May 1972
- (3). W.A. Lewis and L.S. Tippet, "Fundamental basis for distance relaying on 3-phase systems", AIEE Proc., Vol. 66, pp. 694-709, 1947
- (4). E. Oran Brigham, "The fast fourier transform", Prentice-Hall Inc., 1974
- (5). A.G. Phadke et al., "A digital computer system for EHV substations: analysis and field tests", Vol. PAS-95, No. 1, pp. 291-301, Feb. 1976
- (6). P.G. McLaren and M.A. Redfern, "Fourier-series techniques applied to distance protection", Proc. IEE, Vol. 122, No. 11, pp. 1301-1305, Nov. 1975
- (7). J.G. Gilbert et al., "The development and selection of algorithm for relaying of transmission lines by digital computer", Power system control and protection, Academic press, NY, 1978
- (8). G.W. Swift, "The Spectra of fault-induced transients", Vol. PAS-98, No. 3, pp. 940-947, May-June 1979