

Fourier 변환 기반 시정수 추정 알고리즘을 이용한 직류 급전계통 보호 알고리즘

권영진, 최동민, 강상희  
명지대학교 차세대전력기술연구소

한문섭  
철도기술연구원

이재경  
(주)젤파워

A Protection Algorithm for DC Railway Systems Using Estimation of Time Constant Based on Fourier Transform

Y.J Kwon, D.M Choi, S.H Kang  
NPTC Mvovnail University

M.S Han  
KRRI

J.K Lee  
Xelpower

**Abstract** - A DC railway system has low feeder voltage, The remote fault current can be smaller than the current of load starting. So it is important to discriminate between the small fault current and the load starting current. The load starting current increases step by step but the fault current increases all at once. As for the load starting current, the time constant of load current at each step is much smaller than that of the fault current. To detect faults in DC railway systems, an algorithm using the time constant calculated by the method of least squares was presented. But, It have a weakness about harmonic to calculate time constant. So in this paper, new protection algorithm for DC railway systems using estimation of time constant based on fourier transform was presented.

진 시정수와 이 시정수를 이용한 고장판단 알고리즘의 동작결과가 정확함을 보였으나, 실제 H/W에서 고장전류 파형을 입력으로 사용할 경우 고조파의 영향으로 구해진 시정수는 그림 1과 같이 큰 진동을 보였다. 이것은 정류기를 거치면서 발생한 정류 고조파 성분 및 A/D과정 중 A/D Convert의 양자화 오차 등에 영향을 받은 것으로 예측된다.

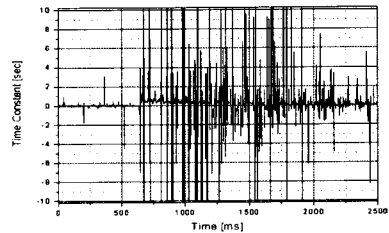


그림 1 최소자승법을 이용 시정수 계산

1. 서 론

전기철도 급전시스템에서 고장 발생시 전기차와 설비를 보호해야 하므로 신속히 고장을 검출하고, 고장의 확대를 방지하기 위해 보호 장치를 설치해야 한다. 직류급전 시스템에서는 원거리 단락전류가 최대부하전류나 전기차의 기동전류보다 작은 경우가 발생함으로 고장과 기동상태의 구분에 어려움이 따른다. 전기차의 기동전류는 단계적으로 증가하기 때문에 각 단계별 시정수는 사고전류의 시정수와 비교할 때 매우 작은 특성에 착안하여 최소자승법을 이용 전류의 시정수를 구한 후 그 크기로써 고장을 판단하는 알고리즘[1]을 도입하였으나, 고조파가 많이 함유된 입력신호로부터 최소자승법을 이용하여 계산한 시정수는 큰 진동이 발생한다. 이런 시정수를 고장판단의 기준으로 사용할 경우 고장판단 알고리즘의 성능 저하를 가져올 수 있음으로 보다 고조파에 강인하게 시정수를 계산하는 알고리즘의 필요성이 대두되었다.

따라서 본 논문에서는 고조파에 강인한 직교변환법을 사용하여 시정수를 계산하고 이렇게 계산된 시정수를 이용하여 직류 급전계통을 보호하는 알고리즘을 제안하고, 전력계통 전자기 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 급전시스템 및 전기철도 차량의 기동과 고장을 모의하고, 사례연구를 통하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 Fourier 변환 기반 시정수 추정 알고리즘의 필요성

그림 1은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 직류급전계통의 단락고장을 모의한 Comtrade 파일을 전력계통 시뮬레이터인 Doble을 사용하여 실시간으로 계전기 H/W에서 입력 샘플링 한 후 최소자승법을 통해 시정수를 구한 결과이다. 최소자승법을 이용한 시정수 알고리즘의 경우 소프트웨어 시뮬레이션을 통해 검증하였을 시에는 구해

이런 시정수를 고장판단의 기준으로 사용할 경우 알고리즘 성능의 저하를 가져올 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 고조파에 보다 강인하게 시정수를 계산하는 알고리즘의 필요하게 되었고 따라서, 본 논문에서는 고조파에 강인한 직교변환법 기반의 시정수 계산 및 이 시정수를 이용한 직류급전 시스템보호 알고리즘을 제안하였다.

2.2 직교변환법을 이용한 전류신호 시정수 계산

직교변환법을 이용하여 전류신호의 시정수를 계산하기 위하여 입력 전류신호를 직류 성분과 기본파 성분 및 고조파 성분들의 합으로 식(1)과 같이 가정하였으며, 이러한, 전류신호에 직교변환법을 이용하면 기본 주파수 성분과 직류 성분만이 남게 된다.

$$I_{(k)} = Ae^{-\frac{kt}{\tau}} + \sum_n B_n \sin(muk\Delta t + \theta_n) \quad \text{식(1)}$$

$$I_x = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^{N-1} I_j \cos\left(\frac{2\pi j}{N}\right) : \text{실수부}$$

$$I_y = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^{N-1} I_j \sin\left(\frac{2\pi j}{N}\right) : \text{허수부} \quad \text{식(2)}$$

식(2)는 직교변환된 전류신호의 실수부와 허수부이며, 본 알고리즘에서는 직류성분의 영향이 큰 허수부를 사용하여 시정수를 계산한다.[1]

$$I^{lm}(N+k) = \frac{A(\omega\tau)^2}{\pi} \cdot \frac{(1-e^{-\frac{2\pi}{\omega\tau}})}{1+(\omega\tau)^2} e^{-\frac{k\omega t}{\tau}} - B_1 \cos(\omega k\Delta t + \theta_0) \\ = -y_1 \cdot e^{-\frac{k\omega t}{\tau}} + y_2 \cos(\omega k\Delta t) + y_3 \sin(\omega k\Delta t) \quad \text{식(3)}$$

여기서,

$$y_1 = -\frac{A(\omega\tau)^2}{\pi} \cdot \frac{(1-e^{-\frac{2\pi}{\omega\tau}})}{1+(\omega\tau)^2}, y_2 = -B_1 \cos(\theta_1), y_3 = -B_1 \sin(\theta_1)$$



형태를 보이며 시정수 역시 증감을 반복한다. 기동시에 구해진 시정수 값을 보면 100[ms]와 220[ms] 전후에 고장판단 설정치보다 큰 값을 가지지만 이 부분의 고장판단 기울기가 설정치보다 낮은 평활한 파형임으로 그림 4에서 고장판단 기울기가 Set(-1)로 되지 않음으로 고장으로 판단되지 않는다.

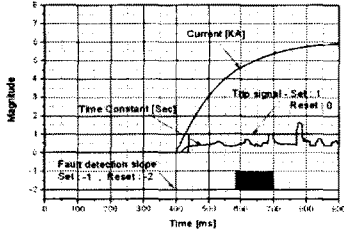


그림 5 무부하시 상행선 2[km] 고장

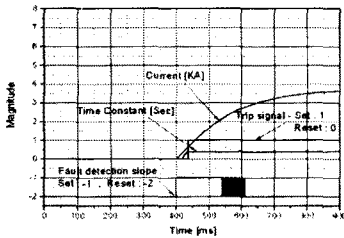


그림 6 무부하시 상행선 4[km] 고장

그림 5,6은 무부하시 상행선에 2,4 [km] 에 고장이 발생한 경우 고장전류 파형과, 시정수, 고장판단 기울기 및 고장판단 결과를 나타냈다. 모두 40[ms] 이내의 안정적인 시간으로 고장판단을 하였다. 무부하시 고장전 시간에서는 전류의 과도상태가 존재하지 않음으로 시정수가 0으로 나타나고 있으며, 고장판단이 된 이후 고장판단 기울기의 Set/Reset이 진동하는 형태로 보이는데 이것은 정류기를 거친 전류가 지속적으로 리플을 가지고 증가하기 때문이며 이것은 이미 고장판단이 되고난 이후 임의로 알고리즘의 고장판단에는 영향을 주지 않는다.

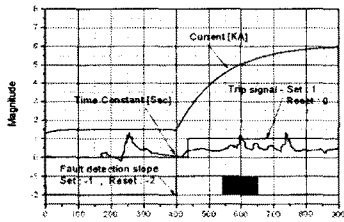


그림 7 부하시 상행선 2[km] 고장

그림 7,8은 열차가 기동시 각각 2,4 [km] 지점의 고장에 대한 모의한 결과이다. 부하시는 무부하시의 달리 고장에 일정 부하전류가 흐르는 상태임으로 시정수가 계산되기는 하지만 그 값은 매우 작고 전류의 증감이 거의 없는 플랫한 구간에서는 시정수가 무한대 혹은 굉장히 큰 값을 가지고 또한 가중평균값을 사용함으로 시정수 값이 설정치를 넘는 값이 나올 수 있으나 이 구간은 전류의 기울기가 고장판단 기울기 이하의 값을 가짐으로 고장으로 판단되지 않는다. 무부하시의 결과와 마찬가지로 고장판단 이후에 고장판단 기울기가 Set/Reset을 반복하는 오실레이션을 보이고 있지만 이 구간은 이미 고장판단이 된 이후임으로 알고리즘의 동작성능에 영향을 주지 못한다.

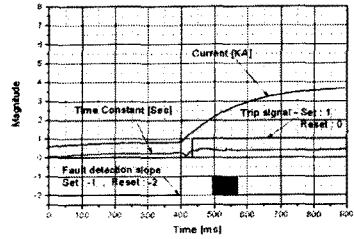


그림 8 부하시 상행선 4[km] 고장

그림 9는 상행선 1km 지점에 고장저항 1.0[ohm]을 동반한 고장의 경우 고장전류의 파형, 시정수, 고장판단 기울기 및 고장판단 결과를 나타내었다. 1500[V]급 직류급전계통의 고장계산시 통상적으로 상정하는 아크 전압은 300[V][3]로써 이를 저항값으로 환산하면 0.023[ohm] 정도의 값으로 제안한 알고리즘은 그림 9에서 보는 바와 같이 고장저항이 1.0[ohm]이 개입한 경우에도 안정적인 고장판단을 함을 보임으로써 알고리즘의 통상적인 고장저항 대응범위에 속함을 확인하였다.

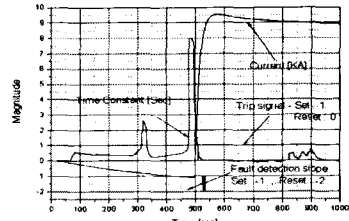


그림 9 상행선 1[km] 부하시 고장저항 1[ohm]개입 고장

### 3. 결 론

본 논문은 고조파에 강한한 직교변환법을 사용하여 시정수를 계산하고 이 시정수를 이용하여 직류 급전계통을 보호하는 알고리즘을 새롭게 제안하였고, 사례연구를 통하여 알고리즘의 타당성을 검증한 결과 고조파에 영향을 받지 않고 신속하고 정확하게 고장을 검출할 수 있음으로 직류급전 계통보호에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

### [참고 문헌]

- [1] 양연필, 강상희, 권영진, "시정수를 이용한 직류철도급전계통에서의 고장판단 및 고장점표정 알고리즘", 대한전기학회 논문지 제52A권 제10호, 2003년 10월, pp. 563-570
- [2] 노재근, 강상희, 남승열, 박종근, "DC-Offset 제거 기능을 향상시킨 거리계전 알고리즘", 2001년도 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, 2001년 11월, pp. 118-120
- [3] 鐵道電化協會, 電回路保護システム, 勝美印刷株式會社, 1987