

변류기 보상 알고리즘을 적용한 거리계전기

강용철, 이현웅, 장성일, 김용균*
전북대학교, (주)한국IED Eng.*

Distance relay using the current transformer compensating algorithm

Yong-Cheol Kang, Hyun-Woong Lee, Sung-il Jang, Yong-Kyun Kim*
Chonbuk National University, Hankook IED Eng. Inc.*

Abstract - This paper describes a distance relay that operates in conjunction with a current transformer (CT) compensation algorithm. A distance relay detects a fault based on the ratio of the voltage to the current. If a CT saturates, the calculated impedance becomes larger. This causes maloperation or operating time delay of the distance relay. A compensating algorithm estimates the correct secondary current from the severely distorted currents even when the measurement CTs are used. The correct current is estimated by adding the calculated magnetizing current to the measured secondary current. Test results show that the proposed distance relay can detect a fault without the operating time delay even when the secondary currents are extremely distorted because of use of measurement CTs.

1. 서 론

거리계전기는 송전선 보호 방식에 있어 널리 사용되고 있다. 거리계전기는 계전 점의 전압과 전류 신호로 계산한 임피던스를 이용하여 사고를 판별한다. 이때의 임피던스는 전압 변성기와 변류기로부터 측정된 전압과 전류의 비로 정의된다. 또한 거리계전기는 인접 송전선의 후비 보호용으로도 사용된다[1], [2].

송전선에 사고가 발생하여 변류기 포화되면 2차 전류가 왜곡되어 거리계전기의 시지연 및 오동작을 발생시킬 수 있다. 변류기 포화는 사고 전류의 크기, dc offset 성분, 1차 시정수, 코어의 잔류 자속에 의해 발생한다. 포화에 대한 기존 대책은 변류기의 포화점을 높게 설계하는 방식이다[3]. 하지만 이 방법은 변류기의 크기를 증가시켜 제작비용이 크게 증가하는 단점이 있다. 이러한 실제적인 제한 요소들이 있기 때문에 변류기 포화는 피할 수 없다. 따라서 거리 계전기는 변류기 포화의 영향을 고려하여 설계되어야 한다.

기존 방식으로는 상관 함수를 이용한 거리 계전 알고리즘이 제안되었다[4]. 상관 함수는 순수 정현파 데이터만을 사용하므로 변류기 포화로 인하여 전류가 왜곡되면 데이터 윈도우가 짧아져 신뢰성이 낮아지는 단점이 있다. 큰 dc 성분이나 잔류자속으로 인하여 변류기가 빠르게 포화될 때 이러한 문제가 발생할 수 있다.

이에 따라 변류기 포화에 대한 보상 알고리즘이 제안되었다[5]. 이 방식은 변류기의 포화 시작 순간을 검출하여 자속을 계산한다. 계산된 자속과 자화곡선을 이용하여 자화전류를 추정하고 측정된 2차 전류에 더해줌으로써 보상전류를 구한다.

본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘을 적용한 거리계전기를 제안한다. 측정용 변류기에 보상알고리즘을 적용하면 전류가 심하게 왜곡된 경우에도 정확한 2차 전류를 얻을 수 있기 때문에 제안한 계전기는 임피던스를 정확하게 계산하여 동작 시지연을 제거할 수 있다. EMTP를 이용하여 측정용 변류기를 모의하였으며 제안한 계전기의 성능을 검증하기 위해 345kV 송전계통을 모의하였다.

2. 변류기 보상 알고리즘을 적용한 거리계전기

2.1 변류기 보상 알고리즘

계통 보호에 있어 변류기 보상 알고리즘을 측정용 변류기에 적용한 방식이 제안되었다[5]. 그림 1은 간략한 변류기 등가회로이며 여기서 L_m , R 는 자화 인덕턴스와 2차 부담이다. $i_1(t)$, $i_m(t)$, $i_2(t)$ 의 관계는 다음과 같다.

$$i_1(t) = i_m(t) + i_2(t) \quad (1)$$

만약 자화전류 $i_m(t)$ 를 알면 일차 전류 $i_1(t)$ 를 정확하게 추정할 수 있다. 보상 알고리즘은 변류기의 포화 시작 순간을 검출하고, 자속을 추정한다. 이 순간의 자속을 초기자속으로 하여 자속의 증분을 더함으로써 매순간의 자속을 계산한다. 계산된 자속을 자화 곡선에 대입하여 $i_m(t)$ 를 구하고, 이를 측정된 $i_2(t)$ 에 더하여 정확한 $i_1(t)$ 를 구한다.

2.2 변류기 보상 알고리즘을 적용한 거리 계전기

본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘을 적용한 Mho 거리 계전기를 제안한다. Mho 거리 계전기의 특성은 식 (2)에 나타난다.

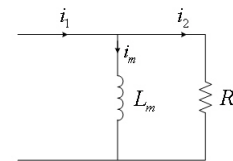
$$|Z_a - Z_s| \leq R_c \quad (2)$$

이때 Z_s , R_c , Z_a 는 각각 원의 중심, 반지름, 계산된 임피던스이다.

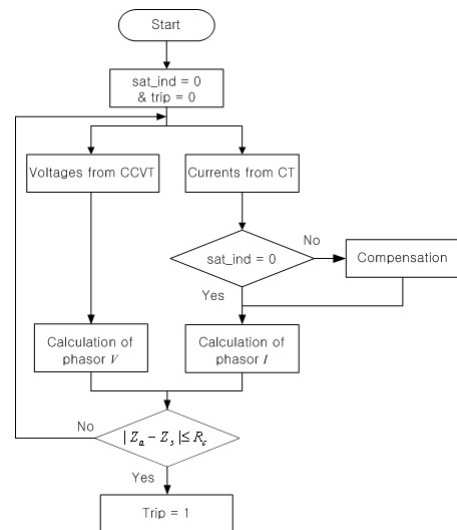
계산된 임피던스 Z_a 는 전압 변성기와 변류기로부터 측정된 전압과 전류의 비로 정의된다. 2차 전류가 왜곡되면 임피던스는 정확하게 계산되지 않으므로 계전기의 시지연이 증가한다. 하지만 변류기 보상 알고리즘을 적용하면 왜곡되지 않은 전류를 얻을 수 있어 정확한 임피던스를 계산할 수 있다.

Z_a 가 원의 내부로 이동하면 조건식 (2)은 만족되고, Mho 계전기는 사고로 판별하여 트립 신호를 출력한다.

제안한 계전기는 측정용 변류기를 사용하여 2차 전류가 심하게 왜곡되어도 시지연없이 사고를 판단할 수 있다. 제안한 거리 계전기의 순서도는 그림 2에 나타나 있다.



<그림 1> 변류기의 간략한 등가 회로



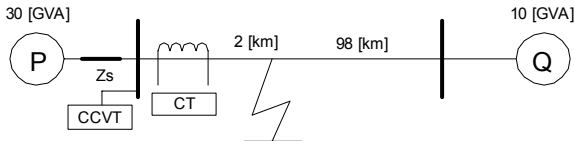
<그림 2> 제안한 계전기의 순서도

3. 사례 연구

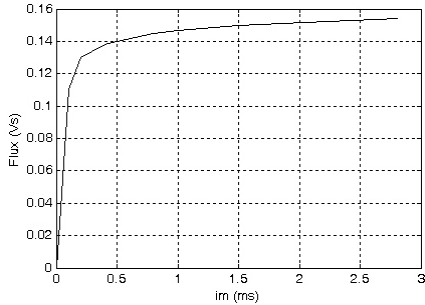
제안한 계전기의 성능을 검증하기 위하여 그림 3과 같은 일반적인 345kV 송전 시스템을 선택하였다. 사고 연구는 사고거리가 2km인 A상 지락사고를 모의하였다. 주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였고 지역통과 필터로는 차단주파수가 1920Hz인 1차 RC 필터를 사용하였다.

측정용 C40 변류기(2000:5, 권선저항 0.61Ω)는 3.42Ω의 저항부담과 연결하였다. 포화점은 2.047A, 0.1515Vs로 설정하였고 히스테리시스의

특성은 EMTP의 보조 프로그램인 HYSDAT을 이용하여 모의하였다. 본 논문에서는 전압 변성기(CCVT)를 코어의 비선형성을 무시하여 이상적으로 모델링하였다. 그림 4는 자화 전류를 추정하기 위한 C40 변류기의 자화곡선이다. 제안한 계전기는 기존 거리계전기와 비교하여 그 성능을 검증하였다.



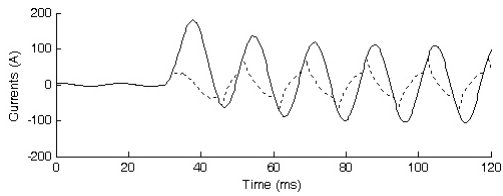
<그림 3> 모의된 시스템의 단선도



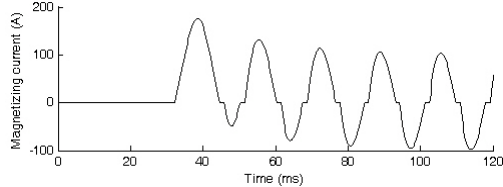
<그림 4> 측정용 C40 변류기의 자화 곡선

3.1 A상 2km 지락사고, 사고위상각 0° ↓ τ=20ms, 0% 잔류 자속

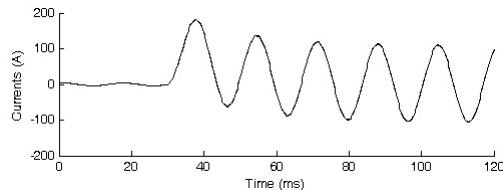
사고는 30ms에 발생하였으며 그림 5a의 실선과 점선은 각각 변류비에 맞는 1차 전류와 측정된 2차 전류를 나타낸다. 사고위상각이 0° 인 경우 큰 dc 성분으로 인하여 변류기가 포화되어 2차 전류가 왜곡된다. 추정된 자화 전류는 그림 5b에 나타나고 이 전류는 보상할 때 그림 5a의 측정된 전류와 더해진다. 그림 5c에서는 실선은 변류비에 맞는 1차 전류를, 점선은 보상된 2차 전류를 보여준다. 두 전류가 거의 동일함을 알 수 있다. 그림 5d와 5e는 보상한 경우(실선)와 보상하지 않은 경우(점선)의 계산된 저항과 리액턴스를 나타낸다. 그림 5f, 5g, 5h는 Mho 계전기의 동작 특성을 보여주며 3개의 원은 각각 1존, 2존, 3존 거리 계전기를 의미한다. 기존의 계전기의 동작은 변류기 포화로 인하여 지연되고 트립 신호(점선)는 44.79ms에 출력된다. 반면에 제안한 계전기는 트립 신호(실선)를 33.34ms에 출력한다. 보상 알고리즘이 측정용 변류기의 사용으로 인해 심하게 왜곡된 2차 전류를 정확하게 추정하였기 때문이다. 제안한 계전기는 11.45ms의 동작 시지연을 개선하였다.



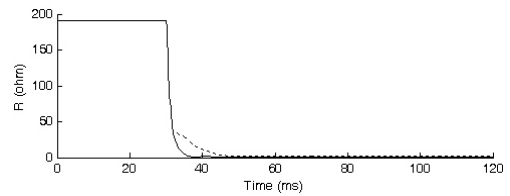
(a) 변류비에 맞는 1차 전류와 측정된 2차 전류



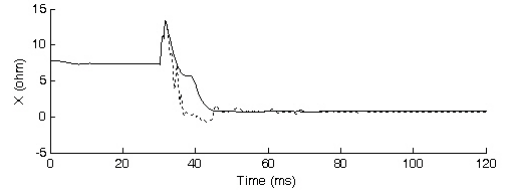
(b) 추정된 자화 전류



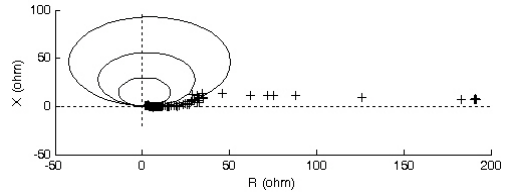
(c) 변류비에 맞는 1차 전류와 보상한 2차 전류



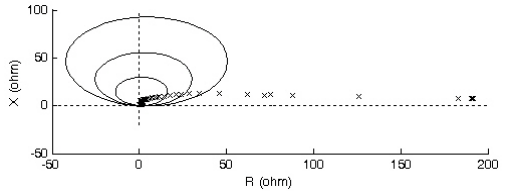
(d) 보상한 경우와 보상하지 않은 경우의 레지스턴스



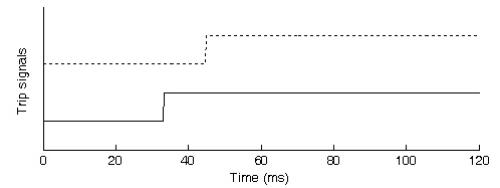
(e) 보상한 경우와 보상하지 않은 경우의 리액턴스



(f) 보상하지 않은 경우의 Mho 계전기



(g)보상한 경우의 Mho 계전기



(h) 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 트립 신호

<그림 5> 사례의 결과들

4. 결 론

본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘을 적용한 거리 계전기를 제안한다. 전압 변성기의 전압과 변류기 보상 알고리즘을 적용하여 얻은 보상 전류로부터 정확한 임피던스를 계산하여 사고를 판별한다.

보상 알고리즘은 측정용 변류기를 사용하여 전류가 심하게 왜곡되었을 경우에도 정확한 2차 전류를 보상하였다. 이에 따라 제안된 계전기는 동작 시지연이 감소되었다.

제안된 계전기는 측정용 변류기를 사용할 경우에도 거리 계전기의 시지연을 개선하였고 변류기 코어의 크기와 비용을 줄일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참고 문헌]

- [1] S. H. Horowitz, and A. G. Phadke, *Power System relaying*. Herfordshire, U.K.: Research Studies Press LTD., p.100, 1992.
- [2] A. R. Bergen, and V. Vittal, *Power Systems Analysis 2nd Edition*. U.S.A.: Prentice Hall. Inc., pp.508-509, 2000.
- [3] IEEE Guide for the application of current transformers used for protective relaying purposes, IEEE Std C37.110-1996.
- [4] A. Wiszniewski and J. Szafran, "Distance Digital Algorithm Immune to Saturation of Current Transformers," *IEE 4th international Cnf. On DPSP*, pp.196-199, Apr. 1989.
- [5] Y. C. Kang, U. J. Lim, and S. H. Kang, "Compensating algorithm suitable for use with measurement type current transformers for protection," *IEE Proc. GTD152*, no. 6, pp.880-890, November 2005.