

보상 알고리즘을 이용한 초고압 계통의 모선보호용 비율 전류차동 계전방식에 관한 연구

강용철* 윤재성** 김동용* 박종근*** 문승일***
 *전북대학교 전기전자회로합성연구소 **전북대학교 전자정보공학부 ***서울대학교 전기공학부

A Study on a Percentage Current Differential Relaying Algorithm for EHV Bus Protection Using a Compensating Algorithm

Yong-Cheol Kang* Jae-sung Yun** Dong-Yong Kim* Jong-Keun Park*** Seung-ill Moon***
 *Chonbuk Nat'l Univ. ECSRI **Chonbuk Nat'l Univ. ***Seoul Nat'l Univ.

Abstract - A variable percentage current differential relaying algorithm is widely used for bus protection. However, it may maloperate in case of high-impedance internal faults and external faults with CT saturation and thus additional method to cope with CT saturation is necessary. This paper proposes a percentage current differential relaying algorithm for bus protection using a compensating algorithm of secondary current of CTs. As the proposed method compensates the distorted secondary currents of CTs it can improve the sensitivity of relays in a large current region and does not need any additional method for CT saturation.

1. 서 론

현재 모선보호용으로 사용하고 있는 계전방식의 기본 원리는 전류차동 방식인데, 이는 계전기에 입력되는 변류기의 2차전류로부터 차동전류를 계산하여 설정된 값보다 크면 사고로 판정하는 방식이다. 그런데, 실제로는 여러 가지 오차를 감안하여 비율 전류차동 계전방식을 사용한다.

그런데, 비율 전류차동 계전방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고의 경우 내부사고로 잘못 인식하는 (오부동작 하는) 문제점을 가지고 있다. 현재까지는 포화에 대한 효과적인 대책이 없기 때문에 전류가 많이 흐르는 대전류 영역에서 계전기의 감도를 희생하여 계전기의 동작영역을 축소시킨 가변비를 전류차동 계전방식을 사용하고 있다.

하지만, 가변비를 전류차동 계전방식에서 감도를 심하게 희생시키면 축소시킨 동작영역만큼 내부사고를 인식할 수 없는 (오동작 하는) 가능성이 커지게 된다. 그래서, 적당한 기울기를 선택하여야 하며, 동작영역의 설정 과정에서 이러한 내용을 주의 깊게 고려하여야 한다. 계전기의 감도를 심하게 희생시킬 수 없기 때문에 변류기가 심하게 포화되는 외부사고 시 오부동작을 피하기 어렵다. 그래서, 변류기 포화에 대한 별도의 대책을 반드시 마련해야 한다.

또한, 가변비를 전류차동 계전방식은 대전류 영역에서 감도가 희생되었기 때문에 모선에서 고저항 사고가 발생하는 경우에는 내부사고 입에도 불구하고 동작하지 않게 되는 (오동작 하는) 단점을 가지고 있다.

가변비를 전류차동 계전방식은 변류기의 왜곡된 2차전류를 처리할 수 없기 때문에 쓰인 방법이며, 왜곡된 2차전류로부터 변류비에 맞는 2차전류를 구할 수 있다면 동작영역이 넓은 비율 전류차동 계전방식을 구현할 수 있다. 최근 변류기가 포화되었을 경우에 실시간으로 이를 보상할 수 있는 알고리즘이 국내에서 개발되었다[1].

본 논문에서는 참고문헌 [1]의 변류기 보상 알고리즘을 결합한 비율전류차동 계전방식을 제안하고자 한다. 먼저, 계전기에 입력된 변류기 2차전류로부터 변류기 포

화 여부를 판단하여, 변류기의 자화곡선으로부터 변류비에 맞는 2차전류로 추정하였고, 이로부터 비율 전류차동 방식으로 구현하였다. EMTP를 이용하여 시스템 조건 및 사고 조건을 변화시켜가며 사고 데이터를 생성하였으며, 기존의 가변 비율 전류차동 계전방식과 제시한 방식의 성능을, 변류기 포화를 수반한 외부사고시의 경우와 조류의 상태를 변화시켜가며 고저항 내부사고의 경우에 대하여 분석하였다.

2. 모선보호용 가변비율 전류차동 계전방식

전류차동 계전방식의 원리는 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 전류차동 계전방식을 이용하기 위한 억제전류 (I_r)와 차동전류(I_d)는 다음과 같다.

$$I_d = I_1 - I_2 \quad (1)$$

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2)$$

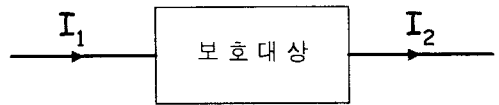


그림 1 전류차동 계전방식의 원리
 Fig. 1 Principles of a current differential relaying algorithm

그런데, 차동전류의 유무만을 가지고 사고를 판정하게 되면 여러 가지 오차로 인하여 오동작할 수 있으므로, 전류차동 계전방식보다는 식 (3)의 비율 전류차동 계전방식을 사용하고 있다.

$$I_d > kI_r + I_{offset} \quad (3)$$

여기서 k 는 계전기의 감도를 의미하며 I_{offset} 은 무시할 차동전류의 값이다. k 가 크면 계전기의 감도가 둔하고, k 값이 작으면 계전기의 감도가 커진다.

그런데, 모선보호용으로 사용되는 비율 전류차동 계전방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고가 발생하면 차동전류가 발생되어 내부사고로 오인하게 되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 대전류 영역에서 계전기의 감도를 희생시킨 가변비율 전류차동 계전방식이 쓰이고 있다. 본 논문에서는 참고문헌 [2]에서 사용한 방식을 분석 대상으로 하였으며, 식 (4)와 식 (5)에 표현하였고, 이를 그림으로 표시하면 그림 2와 같다.

$$I_r < 2[A] \text{인 경우,} \\ I_d > 0.3I_r + 0.2 \quad (4)$$

$$I_r > 2[A] \text{인 경우,} \\ I_d > I_r - 1.2 \quad (5)$$

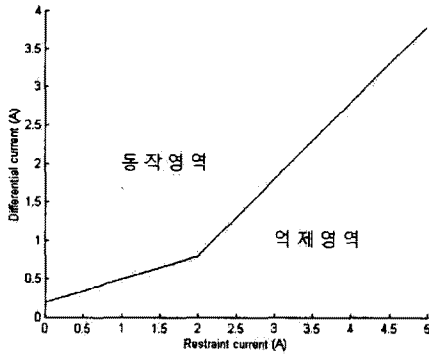
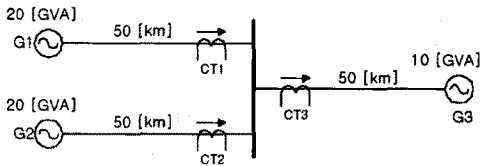


그림 2 가변비를 전류차동 계전방식의 특성
Fig. 2 Characteristics of a variable percentage current differential relaying algorithm

그런데, 이와 같이 계전기의 동작영역을 설정하더라도 변류기가 심하게 포화되는 경우에는 발생한 차동전류에 의하여 계전기의 억제전류와 차동전류가 동작영역 내부로 진입하여 오부동작 하게 되고, 따라서 변류기 포화에 대한 별도의 대비책을 마련하여야 한다. 또한, 고저항 내부사고가 발생한 경우 축소시킨 동작영역 때문에 계전기가 사고를 인식할 수 없는 경우가 발생할 수 있다.

2.1 모델 계통

기존의 가변비를 전류차동 계전방식의 성능을 평가하기 위하여 다음 그림 3과 같은 세 개의 송전선로가 모선에 연결된 모델 시스템을 선택하였다. 모델 계통의 전압은 345(kV)이며, 정격주파수는 60(Hz)이다.



송전선로 파라미터
 $R=0.0345[\Omega/\text{km}]$, $L'=0.9724[\text{mH}/\text{km}]$, $C'=0.0117[\mu\text{F}/\text{km}]$

그림 3 모델 계통
Fig. 3 A model system

그림 3의 송전선로는 최대전류가 약 1380(A)로 제한된다. 때문에 변류기는 변류비 1500:5인 철심변류기를 선정하였으며, 부담은 3.42(Ω) 순 저항부담을 사용하였다. 변류기는 4.24(A), 1.48(Vs)의 포화점을 갖으며, 히스테리시스 특성까지 포함하여 EMTP를 이용하여 모델링 하였다.

그림 3과 같은 시스템에서 억제전류(I_r)와 차동전류(I_d)는 다음의 식 (6), 식 (7)과 같이 구하였다.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (6)$$

$$I_d = I_1 + I_2 - I_3 \quad (7)$$

2.2 고저항 내부사고에서의 성능 분석

그림 4는 조류와 사고저항의 변화에 따른 억제전류와 차동전류를 계산하여 나타낸 그림이다.

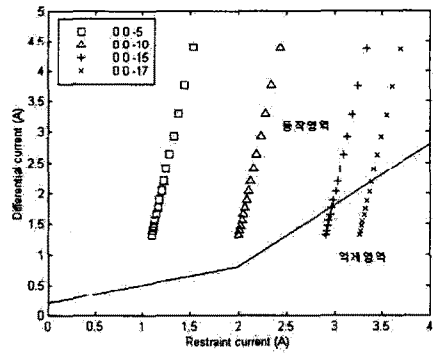


그림 4 고저항 내부사고 시 억제전류와 차동전류
Fig. 4 Restraint and differential currents in case of high-impedance internal faults

그림 4에서 네 가지 기호(□, △, +, ×)는 발전기 전원의 상대적인 각을 의미하며, 이는 현재 흐르고 있는 부하전류의 크기를 나타낸다. 예를 들어, '△'의 경우는 G1, G2 발전기의 위상각이 0° 일 때, G3의 발전기의 위상각이 -10° 임을 의미한다. 상대적인 각의 차이가 커질수록 부하전류가 커지게 된다. 주어진 시스템에서 공급할 수 있는 최대 전류에 해당되는 상대적인 각 차이가 17° 이다. 또한, 같은 기호 내에서 기호 하나는 사고저항이 25(Ω)씩 증가하는 것을 나타낸다.

그림 4에서 알 수 있듯이 조류가 커질수록 좌측에서 우측으로 이동하며, 사고저항이 커질수록 위에서 아래로 이동하는 것을 알 수 있다. 상대적인 각 차이가 15° 보다 큰 상태에서 사고저항이 커지게 되면 계전기의 동작영역 외부에 사고가 존재하게 되어 이러한 내부사고는 계전기가 인식할 수 없게 된다.

2.3 변류기 포화를 수반한 외부사고 시 성능 분석

그림 3의 시스템에서 CT3의 오른쪽 지점에서 사고저항이 1(Ω)인 3상 단락 사고가 발생하면 CT3이 포화되게 된다. 또한, CT3보다는 늦게 포화되지만, CT1과 CT2도 포화되게 된다. 이러한 변류기 포화로 인하여 차동전류가 발생되어 그림 5과 같이 계전기가 동작하게 된다.

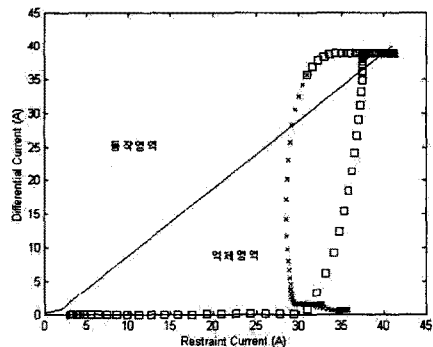


그림 5 변류기가 포화된 경우 계전기의 동작
Fig. 5 Relay's performance when CTs are saturated

그림 5는 사고 직후부터 3주기 동안 계전기의 동작을 보인 것이다. '□'은 사고 직후부터 1.5주기 동안, '×'은 사고 후 1.5주기에서 3주기까지이다. 사고 발생 후 약

10 [ms]가 지난 후에 동작영역 내부로 진입하게 되어 계전기는 내부사고가 발생한 것으로 오인하게 된다. 즉, 계전기는 오부동작 하게 된다.

3. 변류기 보상 알고리즘을 결합한 모선보호용 비율 전류차동 계전방식

가변비를 전류차동 계전방식은 외부사고 시 변류기 포화로 인한 오부동작을 억제하고자 대전류 영역에서 계전기의 감도를 회생하였다. 본 연구에서는 변류기 포화에 대한 대책으로 참고문헌 [1]의 변류기 2차전류 보상 알고리즘을 적용하여, 계전기에 입력된 2차전류로부터 차전류를 계산하여 이를 보상하여 변류비에 맞는 2차전류를 추정하였다.

보상 알고리즘을 이용하여 왜곡된 2차전류를 변류비에 맞는 전류로 복원하게 되면 변류기 포화에 의한 차동전류의 발생이 억제되므로, 가변비를 전류차동 계전방식에서 오부동작을 억제하기 위하여 축소시켰던 대전류 영역에서의 동작영역을 그림 6과 같이 비율 전류차동 계전방식으로 다시 회복할 수 있다.

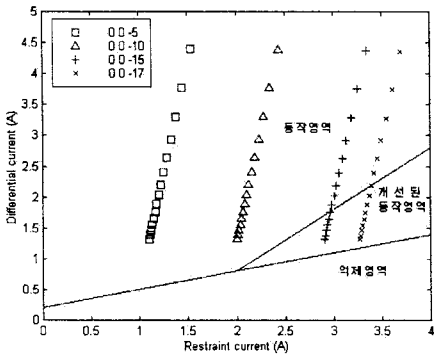


그림 6 가변비율 전류차동 계전방식의 특성 개선
Fig. 6 Improve characteristics of variable percentage current differential relaying

그림 6에서 기존의 방식은 인식할 수 없는 중부하 시 고저항 내부사고를 제안된 비율 전류차동 계전방식은 인식할 수 있음을 알 수 있다.

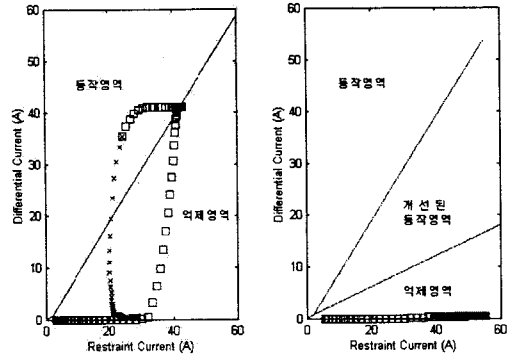
3.1 변류기 포화를 수반한 외부사고 시 성능 분석 사례 1: CT3의 단자에서 3상 단락 사고

그림 7은 CT3의 송전선로 측 단자에서 3상 단락 사고가 발생한 경우의 예이다. 그림 (a)의 기존방식의 경우 변류기 포화로 인하여 발생한 차동전류로 인하여 계전기의 동작점이 동작영역 내부로 진입하기 때문에 계전기가 내부사고로 오인하여 오부동작 하게 된다. 하지만, 그림 (b)의 제안된 방식은 변류기 2차전류 보상 알고리즘의 적용으로 변류기 포화로 인한 차동전류의 발생이 억제되어 동작영역이 확장되었음에도 불구하고, 계전기의 동작점이 동작영역으로 접근하지 않음을 알 수 있다.

3.2 고저항 내부사고 시 성능분석

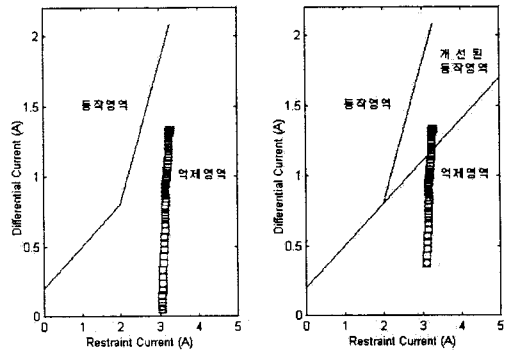
사례 2: 사고저항 500Ω

그림 8은 전부하의 전류가 흐르고 있을 때, 모선에서 사고저항 500[Ω]의 3상 단락 사고가 발생한 경우의 예이다. 그림 (a)의 기존 방식은 계전기의 동작점이 동작영역 외부에 존재하여 계전기가 내부사고를 인식할 수 없다. 하지만, 그림 (b)의 제안된 방식은 확대된 동작영역에 계전기의 동작점이 존재하기 때문에 계전기는 내부사고를 인식할 수 있다.



(a) 기존 방식 (b) 제안된 방식
(a) A conventional method (b) The proposed method

그림 7 사례 1에서 계전기의 동작
Fig. 7 Relay's performance in case 1



(a) 기존 방식 (b) 제안된 방식
(a) A conventional method (b) The proposed method

그림 8 사례 2에서 계전기의 동작
Fig. 8 Relay's performance in case 2

3. 결론

본 연구에서는 변류기 2차전류 보상 알고리즘을 적용한 모선 보호용 비율 전류차동 계전방식을 제안하였다. 제시한 방식과 기존의 방식의 성능을 변류기 포화를 수반한 외부사고와 고저항 내부사고의 경우에 대하여 성능을 분석한 결과, 제안한 계전방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고시에 오부동작하지 않았기 때문에 변류기 포화에 대한 별도의 대책이 필요하지 않으며, 기존의 가변비율 전류차동 계전방식에 비하여 동작영역이 확대되어 고저항 내부사고의 경우에 정확하게 동작함을 확인하였다.

[참고 문헌]

[1] 강용철, 김성수, 박종근, 강상희, 김광호, "철심 변류기의 2차 전류 보상 알고리즘의 실시간 구현 및 오차 분석", 대한전기학회 논문지, 제45권, 제4호, pp. 490-500, April 1996
[2] H.Y.Li, E.P.Southern, P.A.Crossley, S.Potts, S.D.A.Pickering, B.R.J.Caunce, G.C.Weller, "A New Type of Differential Feeder Protection Relay Using the Global Positioning System for Data Synchronization", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, no. 3, pp.1090-1097, July 1997