

새로운 변압기 보호용 디지털 계전 알고리즘

강용철*, ^이병은*, 손진만**, 박종근**

*전북대학교 전자정보공학부, **서울대학교 전기공학부

A New Digital Relaying Algorithm for Transformer Protection

Y.C. Kang*, ^B.E. Lee*, J.M. Son**, J.K. Park**

*Chonbuk National University, **Seoul National University

Abstract - This paper presents a new digital relaying algorithm for protection of a two winding power transformer. The proposed algorithm calculates mutual flux linkages of primary and secondary windings from the currents and voltages of primary and secondary windings. The mutual flux linkage ratio of primary and secondary windings is equal to the turn ratio in case of the steady state and magnetic inrush. On the other hand, the ratio is different from the turn ratio in case of internal winding faults. The algorithm does not require B-H curve. The results of various tests are satisfactory.

리즘이 영향을 받지 않는다. 하지만, 이 방식은 권선비를 고려하지 않았을 뿐만 아니라, 3상의 경우에는 사고난 상을 알 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 변압기 보호용 디지털 계전 알고리즘을 제시한다. 제시한 방식은 1, 2차 전압과 전류로부터 1차, 2차 상호쇄교자속(mutual flux linkage)을 계산하여, 이의 비로써 여자돌입과 내부 사고를 구분한다. 여자돌입의 경우에는 1차, 2차 상호쇄교자속비가 권선비와 같은 데 비해, 내부 사고의 경우에는 권선비와는 다른 값을 갖게 된다. 이러한 방식은 B-H 곡선 데이터가 필요치 않을 뿐만 아니라, 계통의 조건에 영향을 받지 않는다. EMTP를 이용해서 먼저 내부사고를 모델링하였고, 제시한 방식을 시험하였다.

1. 서 론

변압기 보호를 위해 주로 사용된 방식으로는 고조파 억제요소를 갖는 전류차동 방식이 있다. 이 방식은 변압기 양쪽 단자에 흐르는 전류 차를 구해서 어느 값 이상 차이가 나면 사고로 판단하는 방법이다. 이러한 원리를 기본으로 하여 사고를 판단하기 때문에 사고가 아닌 상황에서도 차동전류가 발생할 수 있다. 즉, 변압기를 투입했을 때, 1차 권선에 큰 전류가 흘러 차동전류가 크게 발생하게 된다. 그런데 이것은 사고가 아니기 때문에 계전기는 사고로 인식해서는 안 된다. 이러한 것을 방지하기 위해 고조파 억제요소를 첨가한 방식이 사용되어 왔다. 여자돌입현상이 일어날 때, 차동전류의 고조파 성분 중에 2조파 성분이 많다. 고조파 억제 방식은 이러한 고조파 성분을 감지하여 내부사고와 여자돌입현상을 구분한다. 그런데, 이 방식은 송전선 길이의 증가와 지중선로의 사용 등의 원인에 의해서 변압기 내부사고 동안에도 큰 고조파 성분이 포함할 수 있기 때문에 문제점으로 지적되고 있다.

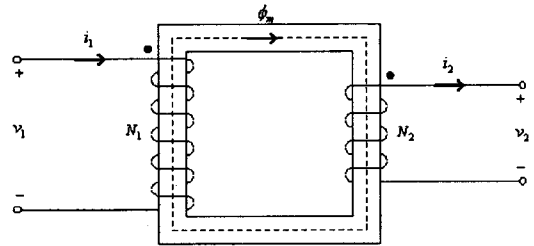
이러한 문제점을 보완하기 위한 방식 중에서 변압기의 Shunt inverse inductance를 이용해서 여자돌입과 내부 사고를 구분하는 방법[1]과, 1차, 2차 전압, 전류의 미분방정식을 이용하는 방법[2]이 제시되었다.

참고문헌 [1]의 방식은 변압기의 II형 등가회로를 이용해서 Transfer inverse inductance 성분이 정상상태, 여자돌입, 내부 사고 모두 일정한 값을 가진다는 것에 착안했다. 즉, 사고난 권선의 Shunt inverse inductance 성분이 사고 권선비의 증가에 따라 증가하고 다른 Shunt inverse inductance 성분은 0보다 작거나 같다는 것을 이용했다. 하지만 이 방식은 권선이 많거나, 3상인 경우에는 식이 복잡해지고, 계산량이 증가하는 단점이 있다.

참고문헌 [2]의 방식은 1차, 2차 전압, 전류 사이의 두 개의 미분방정식을 이용하여, 내부사고와 여자돌입을 구분하였다. 두 개의 미분 방정식을 하나의 미분방정식으로 유도하였고, 여자돌입시에는 유도한 미분방정식이 성립하지만, 내부사고 시에는 성립하지 않는다는 점을 이용하였다. 이 방식은 철심의 재질에 대한 정보가 필요 없을 뿐만 아니라, 계통의 상황이 달라지더라도 계전 알고

2. 새로운 변압기 보호용 디지털 계전 알고리즘

그림 1에 단상 2권선 변압기를 나타내었다.



i_1, i_2 : 1차, 2차 전류

v_1, v_2 : 1차, 2차 전압

ϕ_m : 상호 자속

N_1, N_2 : 1차, 2차 권선수

그림 1. 단상 2권선 변압기

그림 1에서 1차, 2차 전압, 전류의 관계식으로 표현하면 다음과 같다.

$$v_1 = R_1 i_1 + L_n \frac{di_1}{dt} + \frac{d\Lambda_1}{dt} \tag{1}$$

$$v_2 = -R_2 i_2 - L_l \frac{di_2}{dt} + \frac{d\Lambda_2}{dt} \tag{2}$$

여기서, R_1 : 1차 권선저항

R_2 : 2차 권선저항

L_n : 1차 누설 인덕턴스

L_l : 2차 누설 인덕턴스

L_m : 자화 인덕턴스

$\Lambda_1 = N_1 \phi_m, \Lambda_2 = N_2 \phi_m$: 1차, 2차 상호쇄교자속

식 (1)과 식 (2)를 Λ_1, Λ_2 에 대하여 다시 전개하면 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$\frac{d\Lambda_1}{dt} = v_1 - R_1 i_1 - L_n \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{d\Lambda_2}{dt} = v_2 + R_2 i_2 + L_n \frac{di_2}{dt} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)의 양변을 t_1 에서 t_2 까지 적분하면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \Lambda_1(t_2) - \Lambda_1(t_1) \\ &= \int_{t_1}^{t_2} v_1 dt - R_1 \int_{t_1}^{t_2} i_1 dt - L_n (i_1(t_2) - i_1(t_1)) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \Lambda_2(t_2) - \Lambda_2(t_1) \\ &= \int_{t_1}^{t_2} v_2 dt + R_2 \int_{t_1}^{t_2} i_2 dt + L_n (i_2(t_2) - i_2(t_1)) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)의 비를 상호쇄교자속비(mutual flux linkage ratio, MFLR)라 정의하고 이를 나타내면 식 (7)과 같다.

$$\text{MFLR} = \frac{\Lambda_1(t_2) - \Lambda_1(t_1)}{\Lambda_2(t_2) - \Lambda_2(t_1)} \quad (7)$$

여자돌입은 권선이 사고난 것이 아니고, 철심의 포화로 철심의 자화 인덕턴스의 값이 작아졌다, 커졌다하는 현상이기 때문에, 상호쇄교자속비는 권선비(N_1/N_2)가 된다. 하지만, 내부사고는 권선비가 되지 않고, 사고에 따라 다른 값을 갖게 된다. 본 논문에서 제시한 알고리즘은, 정상상태와 여자돌입에서는 상호쇄교자속비가 권선비(N_1/N_2)를 가지고, 내부사고시에는 권선비와 다른 값을 갖는 것을 이용해 이를 구분하였다.

3. 사례연구

제시한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 2와 같은 모델계통을 선택하였다. EMTP로 변압기 내부사고를 1차 권선의 단락사고와 지락사고를 모델링하였고, 1차, 2차 전압, 전류의 데이터를 생성하였다. 내부사고를 모델링하는 방법은 참고문헌 [3]의 방식을 이용하였다. 사용한 변압기는 154kV/22.9kV, 용량이 30[MVA]이다.

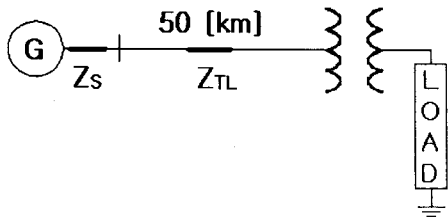


그림 2. 모델 계통

3.1 여자돌입

부하를 연결하였을 때와 연결하지 않았을 때로 나누어 여자돌입현상을 모의하였고, 전압의 투입 위상각은 0도 일 때와 90도 일 때에 대해서 모의했다.

이 중에서 부하시 0도 투입을 했을 때 차동전류와 상호쇄교자속비를 각각 그림 3과 그림 4에 나타냈다.

그림 3과 그림 4에서 알 수 있듯이 변압기 투입이후

차동전류는 최대값이 1800[A]에 이르렀지만, 계산한 상호쇄교자속비는 권선비인 6.72의 값을 유지하는 것을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6에는 무부하시 0도에 인가한 경우의 차동전류와 상호쇄교자속비를 각각 나타내었다.

이 경우에는 무부하시보다 차동전류가 더 크게 나타나 최대값이 2000[A]에 이르렀다. 하지만, 그림 6을 보면, 상호쇄교자속비는 일정한 값(6.72)을 가진다.

위의 결과로부터 여자돌입 경우에는 부하가 있는 경우 이든, 없는 경우이든지 정상상태와 같이 상호쇄교자속비가 일정한 값으로 인식함을 알 수 있다.

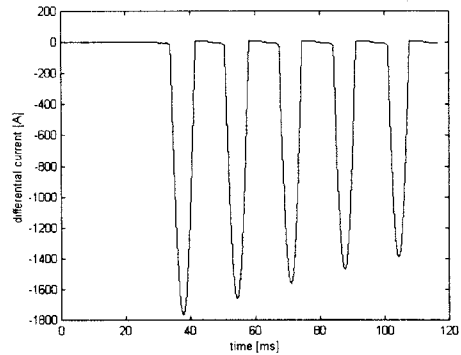


그림 3. 0도에 투입한 경우의 차동전류(부하시)

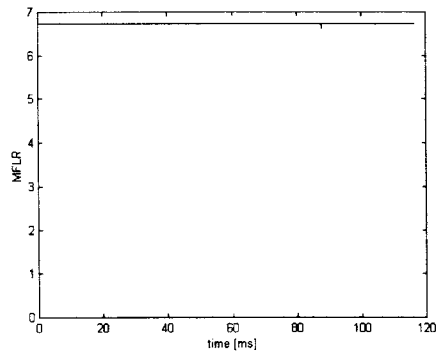


그림 4. 0도에 투입한 경우의 상호쇄교자속비(부하시)

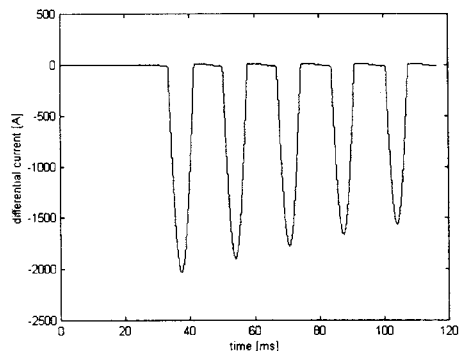


그림 5. 0도에 투입한 경우의 차동전류(무부하시)

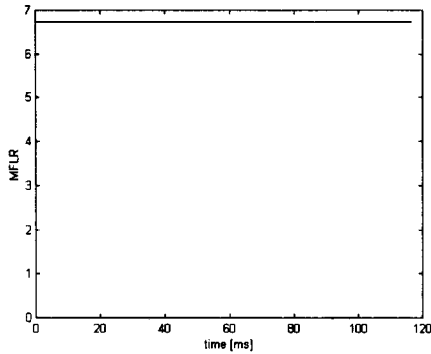


그림 6. 0도에 투입한 경우의 상호쇄교자속비(무부하시)

3.2 내부 사고

내부 사고는 사고 권선의 밑에서 40% 지점의 지락 사고, 20% 지점과 40% 지점의 단락사고, 60% 지점과 80% 지점의 단락사고를 모의하였고, 사고 위상각은 각각 0도와 90도로 하였다.

그림 7과 그림 8은 각각 사고 위상각이 0도와 90도이고 40%부분에서 지락사고가 난 경우의 상호쇄교자속비를 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이, 사고 이후에 상호쇄교자속비는 일정한 값을 갖지 않음을 알 수 있다.

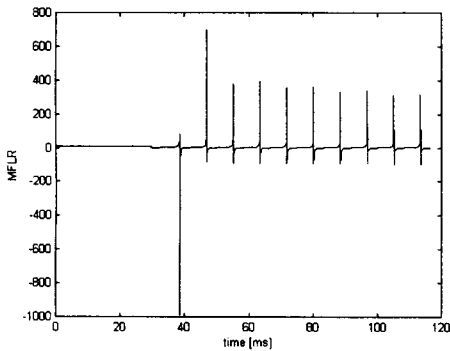


그림 7. 40% 지락사고시 상호쇄교자속비(0도 사고)

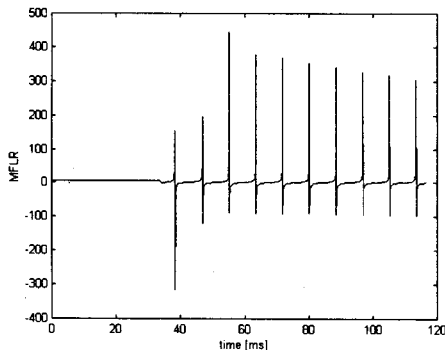


그림 8. 40% 지락사고시 상호쇄교자속비(90도 사고)

그림 9는 사고 위상각 90도이고 밑에서 60%지점과 80%지점의 단락 사고 시의 상호쇄교자속비를 나타내었다.

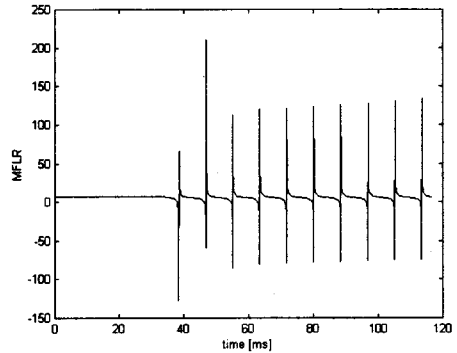


그림 9. 60%-80% 단락사고시 상호쇄교자속비

그림 9에서 알 수 있듯이 단락사고시에도 지락사고시와 마찬가지로 상호쇄교자속비가 권선비와는 다른 값을 갖게 된다.

위의 결과로부터 지락사고와 단락사고시 상호쇄교자속비는 사고 후 모두 변하여, 권선비와는 다른 값을 가짐을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 변압기의 1차, 2차 상호쇄교자속비를 이용해서 내부사고와 여자돌입을 구분하는 알고리즘을 제시하였다. 제시한 알고리즘은 변압기의 1차, 2차 전압, 전류의 관계식으로부터 1차, 2차의 상호쇄교자속을 계산하고 이들의 비로써 내부사고와 여자돌입을 구분하였다. 여자돌입은 투입 위상각을 달리하고, 지락사고, 단락사고는 사고 위상각을 달리하여 모의하였다.

사례 연구결과 여자돌입에서는 부하에 관계없이, 상호쇄교자속비가 권선비인 일정한 값을 가지는 반면에, 내부사고시에는 권선비와는 다른 값을 가짐을 확인하였다. 제안한 알고리즘이 정확하게 내부사고와 여자돌입을 구분한다는 것을 검증하였다.

제시한 방식은 철심의 B-H 곡선이 필요 없는 방식이고, 코어의 재질이 달라지거나, 계통의 조건이 달라지더라도 적용 가능한 방식이다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Inagaki, M. Higaki, Y. Matsui, K. Kurita, "Digital Protection Method for Power Transformer Based on an Equivalent Circuit Composed of Inverse Inductance", IEEE PWRD, vol.3, no.4, pp. 1501-1510, October 1988
- [2] M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, H.C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detecting Transformer Winding Faults", IEEE PWRD, vol.4, no.3, pp. 1638-1648, July 1989
- [3] P. Bastard, P. Bertrand, M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE PWRD, vol.9, no.2, pp. 690-699, April 1994