

전력용 변압기 내부고장시 전압-차전류의 변화에 관한 연구

박재세
인천전문대학

Transition of voltage-differential current under internal fault on power transformer

Park,jaesae
Incheon city college

Abstract - Power transformer is an important apparatus in transforming and delivering the power in a power system. It shows less accident ratio than other system apparatus, but once the accident occurs, it causes long-term operation stoppage and economic loss. It brings high bad spillover effects. Therefore, the role of protective relaying, which is to prevent internal fault a power transformer is highly important. This study proposed advanced algorithm that can clearly determine internal fault of the power transformer and magnetizing inrush, through numerical analysis by using the terminal voltage and input output current.

1. 서 론

전력용 변압기(이하 변압기)는 전력계통에서 전력을 변환하여 전달해주는 매우 중요한 기기로서, 다른 계통요소에 비하여 사고빈도는 적은 편이나, 일단 사고가 발생하면 장기간의 운전정지에 의한 경제적인 손실 등 계통에 미치는 파급효과 및 악영향이 매우 크다. 그러므로 변압기의 내부고장에 대한 보호계전기의 책무는 중요하다. 특히, 내부권선을 포함한 각종 내부 사고에 대하여 고속으로 검출해서 고장의 파급을 방지하고, 신속한 복구를 위해 정동작이 이루어져야 하며, 외부고장이나 과도여자돌입 등에 대해서는 오동작이 방지되어야 한다.

전류 및 전압데이터로부터 단자전압의 실효치 변동, 차전류의 순시치와 실효치 변동에 대한 분석을 관찰하여 변압기의 내부사고와 내부사고가 아닌 여자돌입등 외란 상태를 정확하게 구분 할 수 있도록 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전압-전류의 특성분석

변압기의 보호를 위한 고장판별에서 여자돌입 상태와 내부고장인 지락사고 및 단락사고를 판별하기 위하여 복잡한 처리과정을 줄여서 판별시간을 단축하기 위하여 변압기 1,2 차측에서 전압과 전류(차전류 및 억제전류)의 변화를 시뮬레이션하여 결과를 분석함으로써 고장판별에 필요한 결과를 얻을 수 있다.

2.2 모의 분석

송전선은 현재 사용중인 ACSR의 데이터를 이용하였고, 3상 2권선으로, 45/60MVA, 154kV/22.9kV, Δ -Y 결선인 변압기를 모의대상으로 삼았다. 샘플링 주파수는 60(Hz) 시스템에서 720(Hz)인 주기당 12 샘플링과 8640(Hz)인 주기당 144 샘플링을 하였다. 여자돌입 각과 고장발생위치, 고장종류들을 가변 시켜 여러 가지 다양한 상황을 모의하였다.

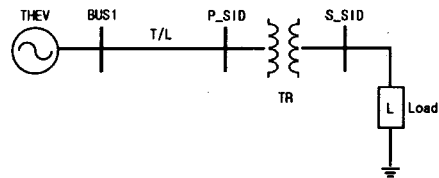


그림 1 모의 계통

2.2.1 여자돌입시 전압,전류신호 분석

그림2~3은 변압기 여자돌입시 여러 가지 신호이다. 여자돌입상황은 0.04448[초]에 변압기를 계통에 투입한 경우로 모의된 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 가압 직후의 3상전압은 초기에 불평형이고 시간이 지남에 따라 평형이 된다. 변압기에 인가된 전압의 초기위상은 A상을 기준으로 하는데, 전류 크기는 전압 위상이 0° 에서 인가될 때가 가장 크며 90° 에서 인가될 때가 가장 작게 나타난다. 또한 시정수에 따라 여자돌입상태의 지속 시간이 달라진다. 여자돌입시에는 가압측에만 매우 큰 전류가 흐르고, 2차측에는 이론적으로 전류가 거의 흐르지 않으나, 실제로는 1차측에 비하여 작은 비율로 나타나는 것을 알 수 있다. 이때 차전류가 크게 나타나게 된다.

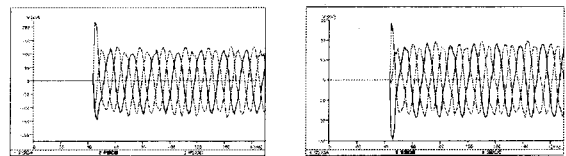


그림 2 1,2차측 3상 전압신호

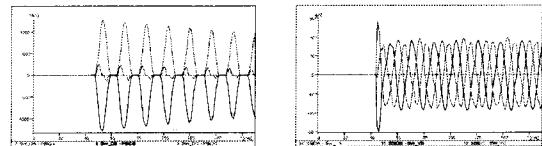


그림 3 1,2차측 3상 전류신호

2.2.2 권선지락고장시 전압,전류신호 분석

그림4~5는 변압기 권선 지락고장시의 여러 신호이며, 권선지락고장은 0.051393[초]에 1차측 Δ 결선의 B, C상 내부권선 중 권선비 2:8 인 지점에서 지락이 발생한 경우를 모의한 것이다. 고장 발생 직후, 고장상의 전압은 감소하고 고장상의 전류는 매우 상승한다. Δ 결선이기 때문에 1상이 아니고, 2상에서 고장의 양상이 나타나게 된다. B상보다는 C상의 변화가 더 크며, 고장이 발생한 1차측의 크기 변화가 2차측 보다 현저함을 알 수 있다.

그림 5에서와 같이 고장발생 후, 2차측에는 3상 전류신호 중에서 1상의 전류는 거의 흐르지 않게 된다.

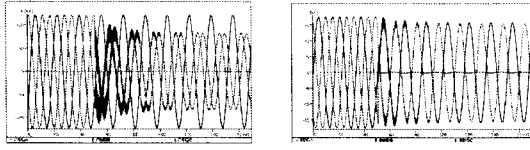


그림4 1,2차 전압신호

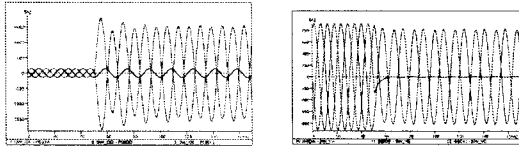


그림5 1, 2차 전류신호

2.2.3 권선단락고장시 전압,전류신호 분석

그림 6~7은 변압기 내부권선간 단락고장시의 여러 가지 신호이다. 변압기 1차측 Δ결선의 B, C상권선의 5:80:15인 부분에서 내부 권선 단락고장이 0.051393 초 시점에서 발생된 경우이다. 내부고장이 발생하게 되면, 전압신호들은 전류신호에 비하여 고조파 성분을 많이 함유하게 되고, 전류신호들은 전압신호에 비하여 직류 성분 성분을 많이 함유하게 된다. 그림에서 알 수 있듯이 고장이 발생한 직후, 1차측 권선의 B, C상 전압은 작아지는 반면, 2차측 권선의 B상 전압은 0이 되고, C상 전압은 감소하게 된다. 이 경우 A상과 B상의 전류는 시간축에 대해 상호대칭인 형태로 그 크기가 증가하여 나타나는 반면 C상의 전류는 큰 변화 없이 정상상태와 유사하게 나타난다.

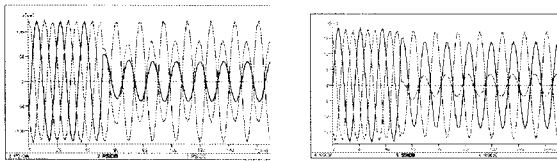


그림 6 1, 2차 전압신호

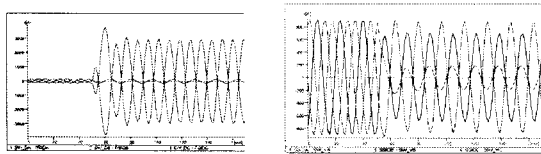


그림 7 1, 2차 전류신호

2.2.4 제2고조파 함유율이 낮은 경우의 분석

그림8은 제2고조파 성분이 작게 함유된 여자돌입시의 3상 전류신호이다.

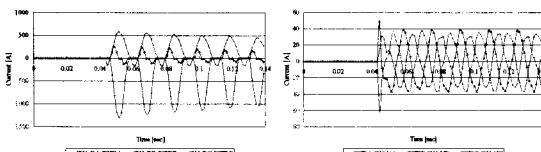


그림 8 여자돌입시 1,2차측 전류신호

그림9는 제2고조파 함유율이 낮은 여자돌입시의 3상 차전류와 억제전류이다. 여자돌입시에 2차측에는 전류가 거의 흐르지 않기 때문에 차전류는 1차측의 전류만

큼 흐르게 되며, 억제전류는 합성전류에 해당되기 때문에 차전류의 1/2정도가 되는 것을 알 수 있다.

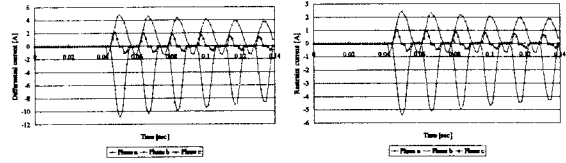


그림 9 여자돌입시 3상 차전류, 억제전류

2.2.5 제2고조파 함유율이 높은 경우의 분석

그림10은 정상상태로 운용중이던 변압기의 1차측 외부 단자 A상에서 0.051393(초) 시점에서 지락고장이 발생한 경우에 제2고조파 성분을 임의로 30%정도 함유시켜서 생성한 특이한 파형이다. 이때 외부단자의 지락고장 발생시점은 샘플수로는 34번째에 해당된다. 그림에서 알 수 있듯이 고장발생직후 1차측 a상 전류는 크게 증가하고 주파수도 변하는데 반해서 B, C상의 전류는 큰 변화 없이 비교적 안정된 상태를 그대로 유지하게 된다.

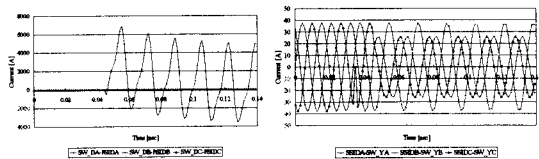


그림10 단자 지락시 1,2차 전류신호

그림 11은 단자 지락고장시의 3상 차전류와 억제전류의 실효치를 나타낸다. 그림과 같이 정상상태에서의 차전류는 발생하지 않거나 약간의 전류가 나타나다가, 단자 지락고장이 발생되면 과도상태의 고장전류로 인하여 고장과 관련된 상의 순시치 전류들은 급격하게 상승함으로 인하여 차전류의 순시치는 급격하게 커지게 된다. 이에 따라 차전류와 억제전류의 실효치는 상승하게 된다.

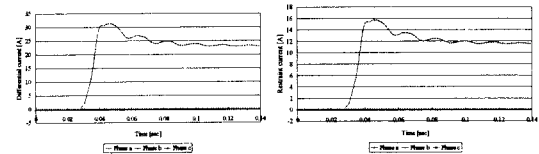


그림11 단자지락시 차전류, 억제전류 (실효치)

2.3 데이터 분석

종래의 고조파 억제방식의 디지털 비유차동계전기법의 문제점을 해결하고자 여자돌입시와 내부고장시의 실효치 전압, 차전류의 순시치분석을 하였다. 모의계통에 대한 시뮬레이션을 수행하여 수집된 단자전압과 입·출력 전류를 연산하여 분석한 것이다.

2.3.1 전압 데이터 분석

그림12,13은 변압기 내부 지락사고시와 단락사고시의 실효치를 나타낸다. 그림과 같이 정상상태에서의 전압은 3상 평형으로 일정하게 흐르다가, 내부 지락사고가 발생되면 과도상태가 된다. 사고가 발생한 고장상 단자전압의 실효치는 정상상태일 때 보다 감소하게 된다.

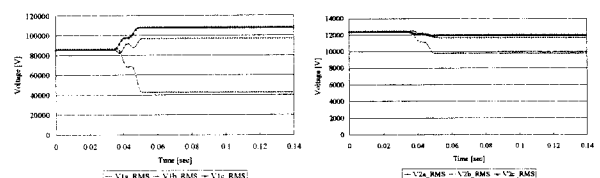


그림12 지락사고시 1,2차측 3상 전압(실효치)

그림13은 변압기 내부 단락사고의 실효치를 나타낸다. 정상상태에서의 전압은 3상 평형으로 일정하게 흐르다가, 내부 단락사고가 발생되면 과도상태가 된다. 사고가 발생한 고장상 단자전압의 실효치는 정상상태일 때보다 감소하게 된다.

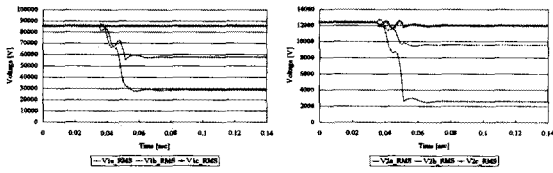


그림13 단락사고시 1,2차측 3상 전압(실효치)

그림14은 여자돌입시의 실효치 전압을 나타낸다. 변압기의 2차측이 개방된 상태에서 1차측에 전압을 인가하는 여자돌입상태에서는 투입 후, 일정시간이 지난 후, 1,2차측의 전압이 정상상태의 전압으로 나타나게 된다. 이때 변압기의 1차측 전압은 0(zero) 상태에서 전압이 급격하게 증가하게 된다. 과여자의 경우에도 부하탈락이나 외부고장이 제거되었을 때 전압이 증가하지만 여자돌입 현상에 비하여 크게 증가하지는 않게 된다

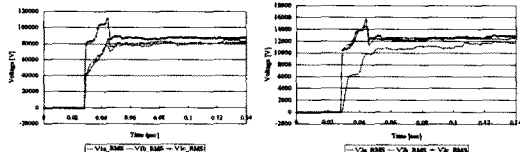


그림14 여자돌입시 1,2차측 3상 전압(실효치)

내부사고시에는 실효치 전압이 감소하기 때문에 그 적분값 역시 감소하게된다. 여자돌입이나 과여자의 경우에도 실효치 전압이 증가하기 때문에 그 적분값도 증가하게 된다.

2.3.2 전류 데이터 분석

종래의 고조파억제 방식 디지털 비유차동계전기법에서는, 변압기의 1,2차측 전류의 차를 이용한 차전류를 사용하고 있으며, 차전류의 순시치와 실효치를 분석하였다. 보호계전기에서 계기용 변성기로부터 입력되는 데이터는 순시치이다. 이들은 사고발생시점과 고장위치, 그리고 변압기 투입위상각에 따라 그 양상이 달라지게 되며, 이에 따라 차전류도 다르게 나타난다.

그림15,16은 내부 지락시의 3상 차전류와 억제전류의 순시치를 나타낸다. 그림과 같이 정상상태에서의 차전류는 발생하지 않거나 약간의 전류가 나타나다가, 내부 지락사고가 발생되면 과도상태의 고장전류로 인하여 고장과 관련된 상의 순시치 전류들은 급격하게 상승함으로 인하여 차전류의 순시치는 급격하게 커지게 된다.

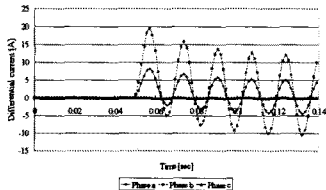


그림15 지락사고시 3상 차전류

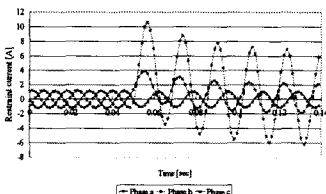


그림16 지락사고시 3상 억제전류

그림17,18은 내부 단락사고의 경우, 3상 차전류와 억제전류의 순시치를 나타낸다. 그림과 같이 정상상태에서 차전류는 발생하지 않거나 약간의 전류가 나타나다가, 내부 단락사고가 발생되면 과도상태의 고장전류로 인하여 고장과 관련된 상의 순시치 전류들은 급격하게 상승함으로 인하여 차전류의 순시치는 급격하게 커지게 된다.

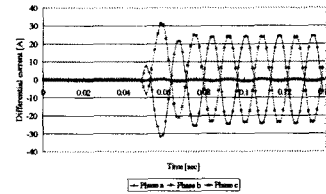


그림17 단락사고시 3상 차전류

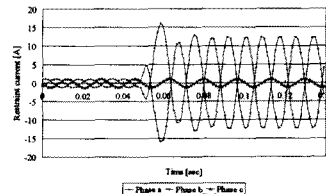


그림18 단락사고시 3상 억제전류

그림19,20은 여자돌입의 경우, 3상 차전류와 억제전류의 순시치를 나타낸다. 변압기를 1차측 가압에 따른 여자돌입상태에서는, 투입 직후 1차측의 전류만이 급격하게 상승하기 때문에 3상 모두에 차전류가 발생하게 된다. 이때 가압하는 전압의 위상각에 따라 여자돌입전류의 크기가 좌우되는데, 투입위상각이 0° 인 경우가 가장 크게 나타난다. 한편, 전압의 투입위상각과 관계없이 3상 차전류 모두 동일한 시간대에, 약 1/6주기(2.77 [ms]) 인 동안 모두 0에 근접한 값을 나타내는 특징을 갖는다. 즉, 이러한 현상으로부터 여자돌입시에는 3상 모두에서 차전류가 발생하며, 약 1/6주기동안에 모두 0에 근접하게되고, 내부사고의 경우에는, 사고상과 관련된 상에서 차전류가 발생하는 것을 알 수 있다.

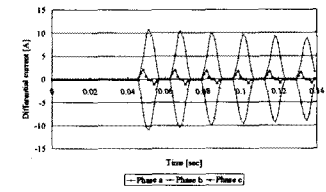


그림19 여자돌입시 3상 차전류

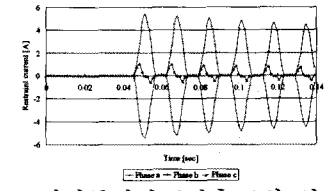


그림20 여자돌입시 2차측 3상 억제전류

3. 결 론

모의분석을 위하여 시뮬레이션과 전압, 전류의 결과를 분석하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 1차측 단자전압의 변화에서는 내부사고(고장)시에는 어떤 상이라도 기준전압에 비하여 감소하였다.
- 2) 1차측 단자전압이 내부고장이 아닌 여자돌입시에는 급격하게 50[%] 이상 크게 증가하였다.
- 3) 차전류와 억제전류의 경우, 내부사고(고장)시에는 사고와 관련된 상에서만 순시치가 급격하게 상승하였다.
- 4) 차전류와 억제전류의 경우, 내부고장이 아닌 여자

돌입시에는 모든 상에서 순시치가 상승하며, 약 1/6 주기 동안 0(zero)에 근접하였다.

위의 결론을 전력용 변압기 보호를 위한 고장판별 알고리즘에 도입을 하면 보다 빠른 시간 안에 내부고장사고 여부 판별 및 단순한 여자돌입 상태여부 판별에 적용할 수 있을 것으로 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Standards Board, "IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus", Dec., 1989.
- [2] The Institution of Electrical Engineers, "Power System Protection", Vol. I,II,III,IV Electricity Association Services Ltd., London, U.K. 1995.
- [3] 中山敬造 編, 이상호 역, "보호계전 시스템", 도서출판 새화, 1986.
- [4] 신대승 편저, "보호계전 시스템 기술", 技多利, 1993.
- [5] 한국전력공사, "전력계통보호", 1996.
- [7] 일본 EMTP 위원회, "EMTP 계산 예제집", 1987.
- [8] 강상희 외 "차동전류 보호계전을 위한 변압기 특성분석", 1996년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 671~673, July 1996.
- [9] 박재세, 박철원, 신명철 외, "전력용 변압기를 위한 IED의 설계에 관한 연구", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 268~270, July 2003.