

변압기 보호용 IED를 위한 개선된 알고리즘의 비교

박철원*, 박재세**, 신명철***

*원주대학 전기과, **인천전문대학 전기과, ***성균관대학교 정보통신공학부

A Comparative of Improved Algorithm for IED of Power Transformer Protection

Chul-Won Park*, Jae-Sae Park**, Myong-Chul Shin***

*Wonju National College, **Incheon City College, ***Sung Kyun Kwan Univ.

Abstract - Conventional PDC relaying with 2nd harmonic restraint makes some doubt in reliability. It can contain second harmonic component to a large extent even during internal fault, and shows a tendency of relative reduction because of the advancement of transformer's core material. It is, therefore, necessary to develop a new algorithm as well as a new technique for the effective and accurate discrimination. This paper deals with advanced algorithm, fuzzy logic based relaying by using flux differential, and a new fault detection criterion logic scheme by using wavelet transform. To comparative analysis of proposed techniques, the paper constructs power system model including power transformer, utilizing the EMTP, and collects data through simulation of various internal faults and magnetizing inrush.

1. 서 론

변압기보호에서는 다른 계통과 달리 변압기 철심의 비선형적인 자기특성으로 인해 발생하는 여자돌입전류에 의한 오동작을 방지하는 것이 무엇보다 중요하다. 이에 따라 여자돌입과 과여자 등의 외란과 권선 내부고장이 확실하게 구별되어야 한다[1]. 현재 DFT 필터에 의한 제2고조파 억제방식이 있는 비율차동계전기법(RDR)이 널리 이용되고 있다. 그러나 최근 변압기의 설계, 제작기술의 발달과 철심재료의 향상으로 인하여 여자돌입의 경우, 제2고조파의 함유율이 적게 나타나고 있으며, 또한 초고압 변압기는 철심의 포화특성상 여자돌입 전류에는 제2고조파 성분이 적게 함유되어 있는 반면 고장전류는 저주파화되어 제2고조파 성분의 함유율이 증가하고 중저조파인 3-8조파 성분이 많이 포함되는 등, 중간단락, 1선지락 고장이 발생한 경우 고장전류가 작아지는 경향이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 현재의 제2고조파 억제방식으로서는 변압기 내부고장과 여자돌입 상태를 구별하기 어려운 경우가 발생할 수 있게 되었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 제2고조파의 함유율을 이용하지 않고 변압기의 여자돌입 상태를 확실하게 검출하는 연구에 관심이 집중되어 있다[2~5].

한편, 현재 보호계전은 과거의 단순한 보호기능만 구비하고 있지만, 향후 변전소 자동화시스템(SAS)은 보호계전외에 전체 시스템을 자동으로 보호, 제어하는 전력설비의 자동화를 목표로 발전하고 있다. 이러한 새로운 보호개념을 구축하기 위해서는 디지털 보호계전기와 이를 네트워크로 엮는 통신기술, 자기진단 기능, 그리고 이벤트 및 고장데이터 저장기능과 관리 기능을 포함시켜 차세대 통합보호제어장치(IED)가 변전소 자동화의 핵심이 된다. 차세대 전력시스템 보호제어기술에 대한 연구는 국내 전력기반을 다지는 중요한 분야인데, 정부의 적극적인 지원을 받아 명지대 차세

대전력기술연구센터(NPTC)를 중심으로 지난 2000년에 연구가 시작되었다[9].

본 논문에서는, 변압기 보호용 차세대 IED를 위한 연구와 같은 맥락으로 자속-차전류의 추이[11]와 전압, 전류의 분석을 통하여 개선 보호계전기법을 제안하였다[10]. 또한, 개선 알고리즘과 퍼지논리, 이산웨이브렛 변환[7,8]을 이용한 알고리즘을 비교·연구하고자 한다. 개선된 알고리즘의 도출에 대하여 서술한 후, 제안된 개선 알고리즘의 기법의 올바른 성능평가를 위하여 EMTP 시뮬레이션 패키지를 이용하여 변압기를 포함한 모의계통을 모델링[3] 하였으며, 여자돌입과 내부고장상태를 수행하여 얻어진 데이터들을 활용하였다.

2. 변압기용 개선된 보호알고리즘

2.1 개선된 보호알고리즘의 도출

2.1.1 자속-차전류 추이의 분석

그림 1의 (a), (b), (c)에서 알 수 있는바 같이, 자속-차전류법에 의하면, 매순간의 전압, 전류 샘플들을 이용하여 계산된 $d\phi_k/di_{d,k}$ 의 값은, 대상변압기의 내부 고장시에는 $-L_p$ 의 값에 해당하는 고장영역에 수렴되고, 여자돌입시에는 이 고장영역과 0에 해당하는 정상영역

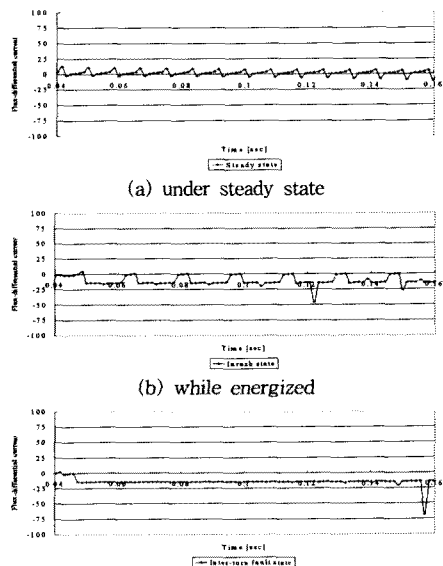


그림 1. 자속-차전류 추이 특성

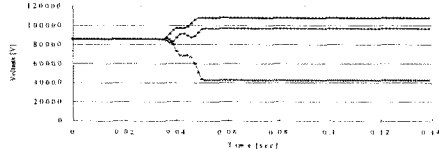
Fig. 1 Transition characteristics of flux-differential current

에 번갈아 위치하게 된다. 따라서 어떤 샘플 윈도우내에서 고장영역에 위치하는

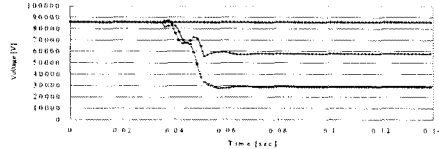
$d\psi_k/di_{d,k}$ 값의 추이를 고려하면 내부고장과 여자돌입의 판별이 가능한 Rule로 활용할 수 있게 된다. 내부고장의 경우, 자속-차전류의 값은 약 -15 정도에서 수렴하게 되는데, 이 값은 변압기 1차측 권선 인덕턴스 데이터 값인 -14.55와 대체로 일치하게 된다.

2.1.2 단자전압의 추이

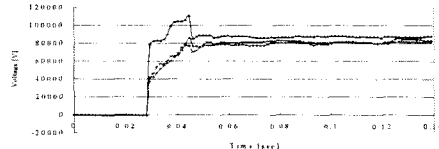
단자전압의 실효치 추이를 이용하면, 여자돌입과 과여자, 내부고장을 판별할 수 있다. 그림 2와 같이 정상상태에서의 전압은 3상평형으로 일정하게 흐르다가, 내부지락사고가 발생되면 과도상태가 되는데, 사고가 발생한 고장상 단자전압의 실효치는 정상상태일 때 보다 감소하게 된다. 가압의 경우에는 변압기의 1차측 전압은 없는 상태에서 전압이 급격하게 증가하게 되고, 과여자의 경우에도 부하탈락이나 외부고장이 제거되었을 때 전압이 증가하지만 여자돌입 현상에 비하여 크게 증가하지는 않게 된다.



(a) under turn to ground fault



(b) under turn to turn fault



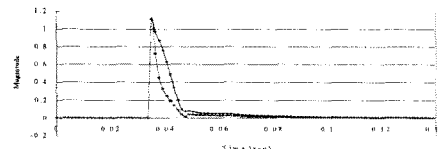
(c) while energized

그림 2. 1차측 3상 전압의 실효치

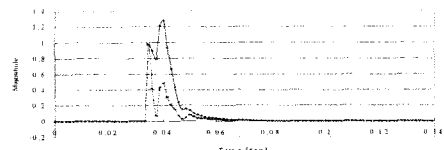
Fig. 2. RMS value of 3 phase voltage in primary side

2.1.3 차전류의 2조파 비율 추이

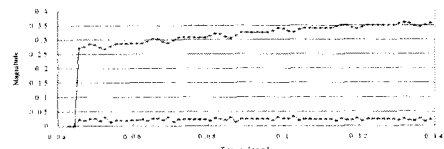
그림 3에서와 같이 내부 사고시에는 고장발생 후 약 2 주기정도가 지난 다음에는 2조파의 비율이 완전히 0으로 감소하였으나, 여자돌입시에는, 이 비율이 일정비율을 함유하거나 다소 상승하는 것을 알 수 있다.



(a). under turn to ground fault



(b) under turn to turn fault



(c) while energized

그림 3. 차전류의 고조파 비율

Fig. 3 Harmonic ratio of differential current

그림 4는 고장판별을 위한 개선된 알고리즘의 흐름도이다. 본 논문에서는 단자전압의 실효치, 차전류의 순시치와 고조파 분석, 자속-차전류 추이분석을 통하여 개선된 보호계전 알고리즘을 제안하였다.

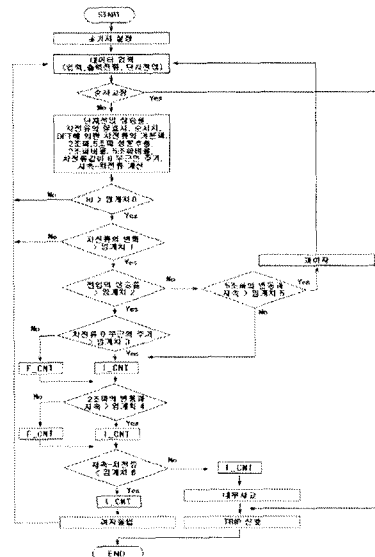


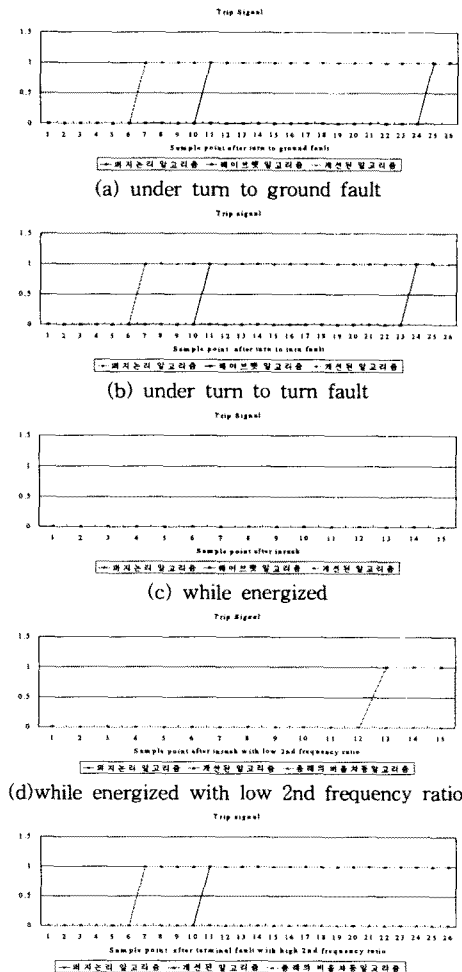
그림 4. 개선된 알고리즘의 전체 흐름도
Fig. 4. Flow chart of advanced algorithm

3. 사례연구

3.1 모델 전력계통

제안된 기법의 올바른 비교분석과 성능평가를 위하여 전력용 변압기 시스템은 상세 모델링을 거친 후, EEUG WATATP 99 소프트웨어를 이용하여 여자돌입, 내부고장을 모의하였다. 샘플링 주파수는 60[Hz] 시스템에서 720[Hz]인 주기당 12 샘플링과 8640[Hz]인 주기당 144 샘플링을 하였다. 여자돌입각과 고장발생위치, 고장종류들을 가변 시켜 여러 가지 다양한 상황을 모의하였다.

3.2 개선된 보호알고리즘의 성능 평가



(a) under turn to ground fault
(b) under turn to turn fault
(c) while energized
(d) while energized with low 2nd frequency ratio
(e) under terminal to ground fault with high 2nd frequency ratio
그림 5. 고장판별
Fig. 5. Fault discriminant

3.3 개선된 보호알고리즘의 비교

4. 결 론

본 논문에서는, 차전류의 실효치 추이와 고조파 변동과 비율, 파형의 특성, 자속-차전류를 이용하여 내부고장과 여자돌입을 정확하게 판별할 수 있는 개선된 알고리즘을 제안하였고, 이 기법은 단차전압과 임-출력전류를 이용한 수치알고리즘으로 실시간 처리와 계전기 하드웨어 구현이 용이하다. 특히, 자속-차전류 판별을 도입하여 특이한 여자돌입과 지락고장의 경우에 트립 오동작을 하는 종래 RDR의 알고리즘의 문제점을 개선함으로써 신뢰성을 향상시켰다. 여자돌입의 경우는 약 3/2주기 이내에 여자돌입 판별이 가능하고, 내부고장의 경우는 약 1/2주기 이내에 고장검출이 가능하였다.

[참 고 문 헌]

[1]. M.A. Rahman, B. Jeyasurya, "A State of the Art Review of Transformer Protection Algorithms", *IEEE Trans. on PWRD.*, Vol.3, No.2, pp.534~544, April

표 1. 제안된 기법과 퍼지 및 DWT 계전기법의 비교
Table 1. Comparison of proposed relaying and fuzzy relaying and DWT relaying

기법 항목	제안된 개선 알고리즘	퍼지 논리 알고리즘	이산 웨이브렛 알고리즘
주기당 샘플링 수(s/c)	12(적음)	12(적음)	144(많음)
사용 디지털 필터	DFT	DFT	LPF, HPF
종래의 기법과의 유사성	매우 유사함	유사함	매우 다름
이동 윈도우 길이	1주기	1주기	1/4주기
자속-차전류 기법	사용함	사용함	사용하지 않음
제2고조파 사용	사용함	사용함	사용하지 않음
특징추출 방법	파형의 형태, DFT분석, 자속-차전류	퍼지화	DWT
오동작 유무	없음	없음	없음
특이한 경우의 오동작 유무	없음	없음	시뮬레이션 못함
임계치	많음	6	0.45
고장판별 방법	차전류의 0 유지 2고조파의 비율 자속-차전류	출력퍼지값	DB5 detail 1의 비율
유연성	보통	많음	보통
연산량	적당	매우 많음	적음
구현의 용이성	매우 용이함	용이함	가능함
고장판별시간	8.34~11.11 ms	16.67 ms 이내	33.33 ms 이내

1988.
[2]. M.A. Rahman, B. So, M.R. Zaman and M.A. Hoque, "Testing of Algorithms for a Stand-Alone Digital Relay for Power Transformer", *IEEE Trans. on PWRD.*, Vol.13, No.2, pp.374~385, April 1998.
[3]. Patrick Bastard, Pierre Bertand, Michel Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", *IEEE Trans. on PWRD.*, Vol.9, No.2, pp.690~699, April 1994.
[4]. 한국전력공사, "보호제어 유니트의 소프트웨어", 변전소종합 보호제어 시스템설계 및 제작기술 개발 최종보고서 부록, pp.1~87, 1997.2.
[5]. 김남호, 박종근, 신명철 외, "지능형 보호 계전기 연구 개발", 기초전력공학 공동연구소 최종보고서, 1997.8.
[6]. Luis G. Perez, Alfred J. Flechsig, Jack L. Meador, Zoran Obradovic, "Training an Artificial Neural Network to Discriminate between Magnetizing Inrush and Internal Faults", *IEEE Trans. on PWRD.*, Vol.9, No.1, pp.434~441, Jan. 1994.
[7]. A. Wiszniewski, B. Kaszenny, "A Multi-Criteria Differential Transformer Relay Based on Fuzzy Logic", *IEEE Trans. on PWRD.*, Vol.10, No.4, pp.1786~1792, Oct. 1995.
[8]. Xiangqing Liu, Pei Liu, Shijie Cheng, "A wavelet transform based scheme for power transformer inrush identification", *Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol.3, pp.1862~1867, IEEE 2000.
[9]. 명지대학교 차세대전력기술센터(NPTC), "Next-Generation Protection Technology", pp.1~214, Feb. 2002.
[10]. 이승재, 강상희, 김상태 외, "전압, 전류 변화 추이율 이용한 전력용 변압기 보호계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지 50A 4권 1호 pp. 157~165, April 2001.
[11]. C.W. Park, M.C. Shin, J.H. Kim, "Fuzzy Logic-Based Relaying for Large Power Transformer Protection", *IEEE Trans. on PWRD.*, Vol.18, No.3, pp.718~724, July 2003.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임.