

비율차동특성을 이용한 변압기의 실시간 디지털보호

○서 회석* 신 명철*

윤 만철** 김 일동**

* 성균관 대학교 전기공학과

** 한국전력 기술연구원

A real-time digital protection for transformer
using percentage differential characteristic

Hee-Seok Suh* Myong-Chul Shin*

Man-Chul Yoon** Il-Dong Kim**

* Dept. of Electrical Eng.

** Power System Dept.

Sung Kyun Kwan Univ.

Research Center KEPCO

Abstract

This paper presents the real time digital differential protection scheme for transformer. Inrush and internal fault conditions are distinguished by the relative magnitudes of fundamental and second harmonic components which are extracted from differential currents.

The algorithm is simulated and implemented using a prototype relay which is made up of Intel 80286 CPU and Motorola DSP-56001. The testing data of inrush and internal fault signals which are sampled at a rate of 12 times a cycle are obtained by EMTF, and tested in real time using simulator which downloaded those data.

1. 서론

보호계전장치는 계통사고시 그 파급효과를 저지하는 것을 목적으로 하는 매우 중요한 장치이다. 이에 전력계통의 각 요소를 보호하기 위한 보호계전기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 1970년대초부터는 반도체 기술의 발달과 더불어 마이크로 프로세서를 이용한 디지털계전기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이는 종래의 아날로그 계전기에 비해 수치연산의 고속실행, 자기진단, 이상감시기능 및 제어장비와의 연계가 용이한 장점을 가지고 있다. [1] 한편 전력계통의 보호에는 발전기, 송전선로, 각종 기기보호등이 있으며 일반적으로 고장시 발생하는 과도전류 또는 전압을 이용하여 고장을 해석하여 계통을 보호하게 된다. 그러나 변압기의 보호에 있어서는 여자돌입전류(inrush current)에 의한 보호계전기의 오동작을 방지하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서, 최근에는 디지털 필터를 이용한 고조파 억제방식이 널리 이용되고 있다. [2] 고조파 억제방식은 변압기의 1차측과 2차측의 차동전류를 이용하는 것으로, 변압기의 여자돌입 상태에서의 차동전류가 제2고조파 성분을 많이 함유하고 있는 특성을 이용하는 것이다. 이에 1972년 Sykes 와 Morrison이 반복 대역필터(recursive bandpass filter)를 이용하여 여자돌입 상태와 고장상태를 판별하였

다. [3] 그러나 이 방법은 변압기의 내부고장시 응답속도가 늦은 결점이 있다. 또한 Rahman 와 Jeyasurya는 최소자승법 (least squares curve fitting techniques)을 이용하였는데 이 방법은 계산시간이 많이 소요됨으로 실시간(real-time)으로 처리하기에는 어려움이 있다. [4]

이에 본 연구에서는 1982년 Thorp, Phadke등이 제시한 DFT (discrete fourier transform)를 이용한 보호계전 알고리즘에 근거하여, 변압기의 실시간보호를 수행할 수 있도록 하였다. 또한 Intel 80286 CPU와 모토롤라사의 DSP(digital signal processor) 56001을 사용, 간단한 연산 및 처리는 CPU에서 수행하고 신호의 필터링등과 같은 복잡한 연산은 DSP에서 수행하도록 하였다. 아울러 실시간 연산처리를 테스트하기 위하여 시험용 시뮬레이터를 이용 시험함으로써 실제 적용에 근접할 수 있도록 하였다.

2. 비율차동 계전방식

비율차동 계전방식은 변류기의 특성차에 의해 야기되는 불평형 전류로 인한 계전기의 오동작을 막기 위하여 동작코일과 억제코일을 이용하여 동작코일에 흐르는 차전류와 억제코일에 흐르는 통과전류의 비를 이용하여 고장을 판별하는 방식으로 그림1과 같은 특성을 이용하여 수행된다.

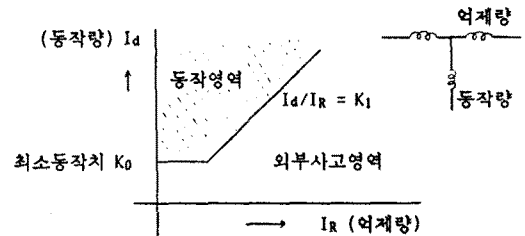


그림1. 비율차동 특성

여기서 K_0 는 최소동작치를 나타내며 일반적으로 정격치의 30-40%를 채택하고 있다. 즉 변압기의 1, 2차측 전류의 차가 최소동작치 이상으로 되었을 때 1차 사고 조건이 된다. 그리고 K_1 은 차동비율로 1차측과 2차측 전류의 차전류와 통과전류의 비율 나타내며, 그 비율이 지정된 한계를 넘어가면 2차 사고조건이 되는데, 여기서는 30%를 택하였다.[8]

3. 여자돌입 전류에 의한 계전기의 오동작 방지

변압기의 여자돌입은 변압기를 계통에 투입하는 경우 변압기의 가압전압이 급격하게 변함으로써 발생하는 과도여자 전류를 가르키는 것으로, 그 크기는 정격전류의 10배에 달하기도 하며, 감쇠시간은 10사이클에서 1-2분 정도가 되기도 하여 보호계전기가 오동작할 위험이 있다.[2] 이에 본 연구에서는 고조파 억제방식을 이용하였는데, 이는 여자돌입 전류 중에는 다량의 제2고조파 성분이 포함되어 있는 것에 착안한 것으로 여자돌입과 과여자 상황에 대해서는 억제 기능을 수행하며, 변압기 권선의 단락 및 내부고장등에 대해서는 보호 기능을 수행하게 된다.

4. 전류치의 보정

비율차동 계전방식을 적용할 경우 주의할 점은 Y-Δ 결선 변압기의 1차와 2차전류사이에는 30°의 위상차가 있기 때문에 이를 보정하기 위해 변압기 Y측의 CT 2차접속을 Δ, Δ측의 CT 2차 접속을 Y로 결선해야 한다. 또한 변압기의 변압비와 고,저압측 변류비가 정확하게 대응하지 않으므로 보상 변류기 또는 계전기의 전류보정탭을 이용하여 변류비를 조정해야한다. 이에 본 연구에서는 주기당 12샘플한 데이터를 이용, Y측에서 입력되는 데이터를 한 샘플 지연시킴으로써 위상차를 보정하였고, 변수를 이용 변류비를 곱해줌으로써 전류보정탭의 기능을 소프트웨어적으로 처리하였다.

5. 주파수성분 및 진폭값 산출연산

변압기 보호를 위해서는 주파수 성분에 따른 신호의 크기를 산출하여야 한다. 이에 본 연구에서는 기본파성분 및 제2고조파성분을 독립적으로 추출하기 위하여 다음과 같이 DFT에 의한 필터링 방법을 이용하였다.

$$DC = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M X(t) \quad (1)$$

$$A(N) = \frac{2}{M} \sum_{t=1}^M X(t) * \sin(N * \frac{2\pi}{M} * t) \quad (2)$$

$$B(N) = \frac{2}{M} \sum_{t=1}^M X(t) * \cos(N * \frac{2\pi}{M} * t) \quad (3)$$

$$C(N) = \sqrt{A(N)^2 + B(N)^2} \quad (4)$$

$$H(N) = \frac{C(N)}{C(1)} * 100 \quad (5)$$

여기서 M : 주기당 샘플링 수

N : 고조파의 차수

X(t) : 샘플링 된 신호

A(N), B(N) : Fourier계수

C(N) : 제N차 고조파의 진폭

H(N) : 제N차 고조파의 함유율이다.

그러나 실제로 식(1)-(5)와 같은 연산은 DSP에서 실행되어진다. 따라서 식(4)와 같은 ROOT계산은 어셈블리 언어로는 계산이 어렵고 오차가 많이 발생하게 된다. 이와같은 단점을 보완하기 위하여 식(6)과 같은 2차 가산법을 이용한다.

$$C(N) = |X(t)| + |X(t-3)| + K||X(t) - |X(t-3)|| \quad (6)$$

여기서 계수 K 값으로는 $(\sqrt{2} - 1)$ 이 연산 결과의 리플을 최소화하지만 연산처리를 간단히 하기 위하여 일반적으로 1/2가 사용되며, 이때 연산오차는 $\pm 5.5\%$ 가 된다.

6. 변압기보호 알고리즘

변압기의 디지털보호를 위해서는 차동전류의 신호로부터 기본파 및 제2고조파를 추출함으로써 알고리즘이 수행되는데 그림2는 이와 같은 알고리즘 수행과정을 도식화 한 것이다.

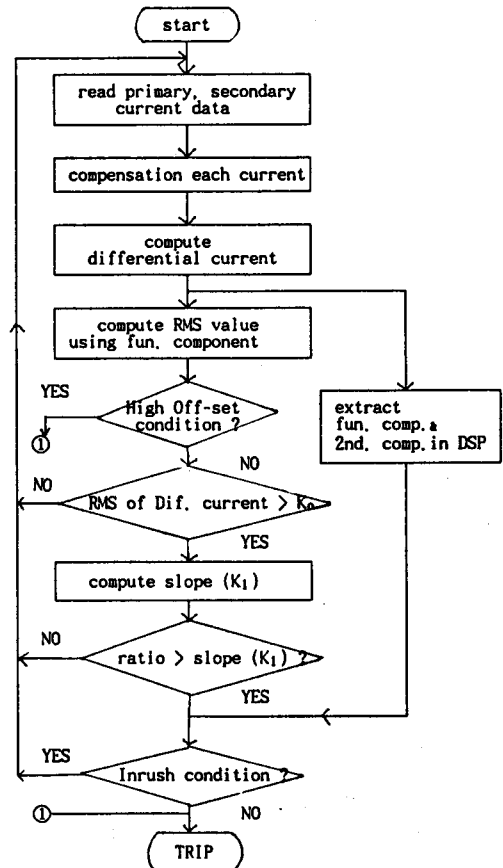


그림2. 변압기 보호 알고리즘 흐름도

여기서 여자돌입상태를 판별하는 제2고조파의 함유율은 25%를 턱하였다. [8] 아울러 순시 차동 과전류 트립을 수행할 수 있도록 하였는데, 이것은 매우 큰 순시과전류(정격치의 10-15배)가 흐르는 경우 트립신호를 내보내도록 한 것으로 비용차동 및 고조파억제 방식과는 무관하다.

그림2에서 알 수 있듯이 알고리즘의 수행시간을 최소화하기 위하여 CPU와 DSP는 병렬로 연산을 수행하도록 하였으며 그림3은 이와같은 과정을 도식화한 것이다.

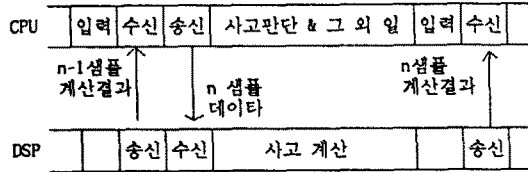


그림3. CPU와 DSP의 계산과정

그림3에서 알 수 있듯이 n번째 샘플의 데이터가 들어오면 우선 n-1번째 샘플을 가지고 DSP에서 계산된 결과를 받고, n번째 샘플을 DSP에 보냄으로써 DSP에서 n번째 샘플을 가지고 계산하는 동안 CPU에서는 n-1번째의 계산결과를 가지고 사고판단 및 그 이외의 일을 하게하는 것이다.

7. 사례 연구

본 연구의 시뮬레이션용 데이터는 EMTP를 이용하여 얻었는데 EMTP의 입력데이터중 mis.카드의 DELTA T를 1.38E-5로 하여 계산하고 데이터의 출력을 100 번째에 한번씩 취함으로써 전압, 전류신호를 주기당 12샘플한 것과 같은 상황을 연출하였으며, 그림4는 시뮬레이션에 사용한 계통도를 나타낸 것이다.

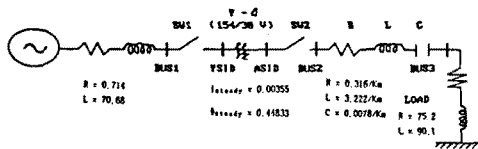


그림4. 시뮬레이션 계통 모델

다음의 그림5는 그림4와 같은 계통도에서 여자돌입 상태를 시뮬레이션하여 4절에서 설명한 위상각의 보정 및 변류비를 고려한 후의 1차측과 2차측의 차전류를 나타낸 것이다.

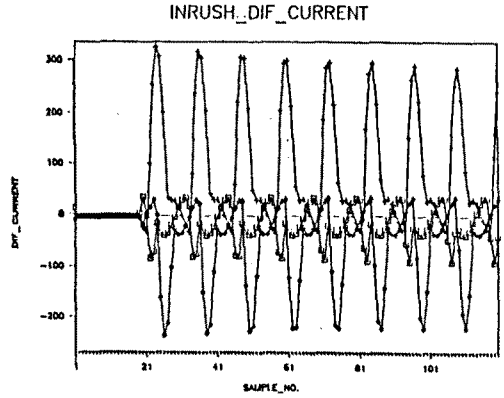


그림5. 변압기의 여자돌입시 차전류 파형

다음의 그림6은 변압기의 여자돌입시 차전류의 기본파 성분 및 제2고조파 성분의 크기를 나타낸 것이다.

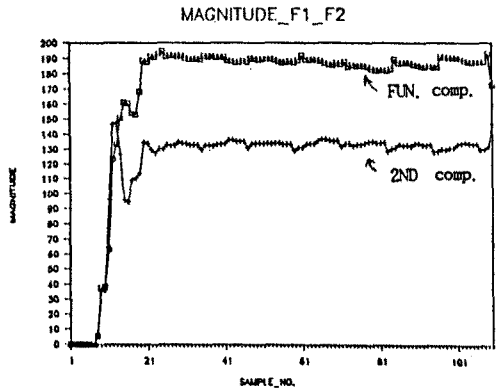


그림6. 여자돌입시 기본파, 제2고조파의 크기

그림7은 그림6을 제2고조파의 함유율을 나타낸 것이다.

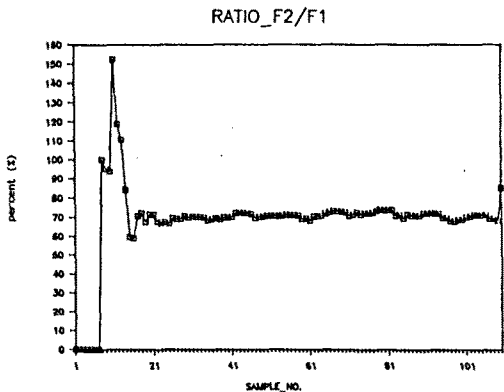


그림7. 여자돌입시 제2고조파의 함유율

그림에서 제2고조파의 함유율이 기준치 이상을 초과함으로써 여자돌입 상황으로 판단 트립신호를 내보내지 않게된다.

다음의 그림8은 변압기의 내부에서 지락고장이 발생한 경우로, 4절에서 설명한 조건을 고려한 후의 차전류를 나타낸 것이다.

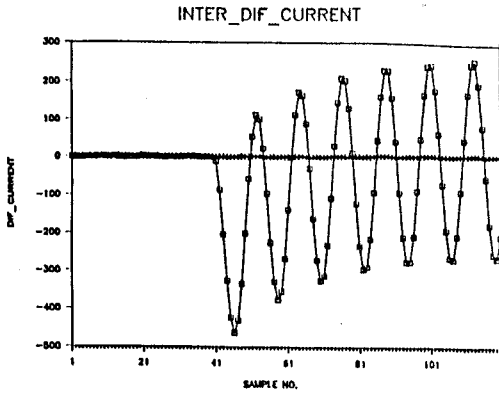


그림8. 변압기의 내부고장시 차전류 파형

그림9는 이와같은 내부고장시 차전류의 제2고조파의 함유율을 나타낸 것이다.

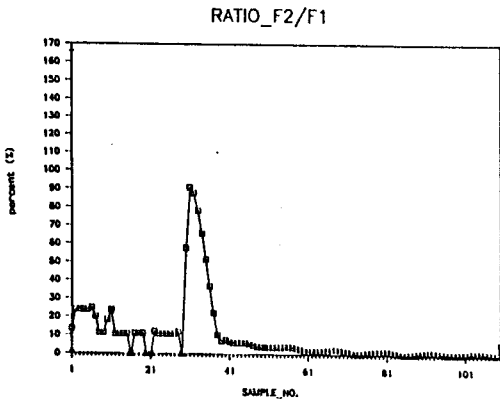


그림9. 변압기의 고장시 제2고조파의 함유율

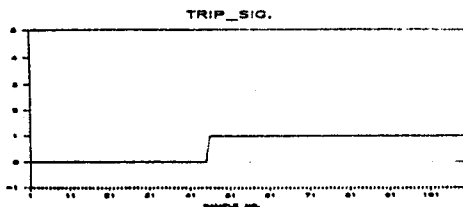


그림10. 트립 신호

여기서 그림10은 변압기의 내부고장시 비율차동 특성을 만족하고 제2고조파의 함유율 기준치 이하인 경우의 트립신호를 나타낸 것이다.

그림11은 변압기의 내부 고장시 시뮬레이터를 이용 실시간으로 테스트한 결과를 나타낸 것이다.

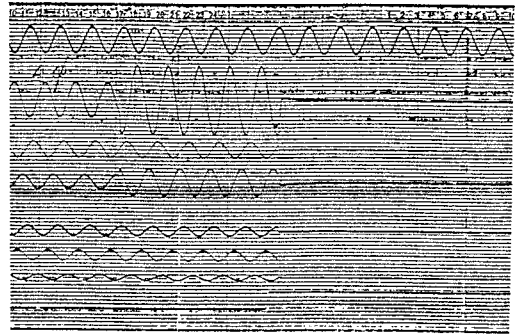


그림11 변압기의 내부고장시 테스트 결과

여기서 트립신호가 3사이클 정도 지연되었으나 이것은 실제로 동작되는 릴레이에서의 지연시간이 포함된 것이다.

8. 결론

본 연구에서는 변압기보호를 위한 실시간 디지털 보호 알고리즘을 제시하였다. 보호 알고리즘은 비율차동특성을 이용하였으며, 보호에 이용한 데이터는 주기당 12샘플한 전압, 전류 데이터를 이용하였다. 알고리즘의 수행은 Intel 80286 CPU와 모토몰라사의 DSP(digital signal processor) 56001을 사용, 간단한 연산 및 처리는 CPU에서 수행하고 신호의 필터링등과 같은 복잡한 연산은 DSP에서 수행함으로써 전체적인 보호 알고리즘이 실시간으로 처리될 수 있도록 하였다. 또한 시험용 보호계전기를 이용 알고리즘을 실시간으로 수행하여 그 우수성을 입증하였다. 추후 실계통에 적용, 테스트함으로써 알고리즘의 보완과 더불어 많은 연구가 기대된다.

9. 참고 문헌

- [1] 明電時報 通卷209號 “電力系統保護. 制御裝置の技術動向” 1989 NO. 6
- [2] “保護繼電 시스템”, 中山敬造 著 李相浩 譯 1991. 圖書出版 世和
- [3] “電力系統のデジタル制御. 保護”, 東京電力株式會社
- [4] J.A. Sykes, I.F. Morrison, "Aproposed method of harmonic-restraint differential protection of transformers by digital computer", IEEE Trans. PAS-91, No. 3, pp.1266-1276, 1972.
- [5] M.A. Rahman, B. Jeyasurya, "A state-of-the-art review of transformer protection algorithms", IEEE PES Winter meeting, paper 87 WM14-2, New Orleans, Feb. 1987.
- [6] Y.V.V.S Murty, W.J. Smolinski, "Designand implementation of a digital differential relay for 3-phase power transformer based on Kalman filtering theory", IEEE Trans. on Power Dillivery, Vol.3, No.2, April 1988.
- [7] Digital Relay, TOSHIBA Corp.
- [8] "Current differential Relay(Type GBT4D-BT1) 取扱説明書", TOSHIBA Corp.