

# 전력용 변압기용 자속-차전류 기울기 특성에 의한 개선된 보호계전 알고리즘

論 文

53A-7-3

## Advanced Protective Relaying Algorithm by Flux-Differential Current Slope Characteristic for Power Transformer

朴 哲 園\* · 申 明 澈\*\*

(Chul-Won Park · Myong-Chul Shin)

**Abstract** - The most widely used primary protection for the internal fault detection of power transformers is current percentage differential relaying(PDR). However, the harmonic components could be decreased by magnetizing inrush when there have been changes to the material of iron core or its design methodology. The higher the capacitance of high voltage status and underground distribution, the more differential current includes the second harmonic component during occurrence of an internal fault. Therefore, the conventional harmonic restraint methods need modification. This paper proposes an advanced protective relaying algorithm by flux-differential current slope characteristic and trend of voltage and differential current. To evaluate the performance of proposed algorithm, we have made comparative studies of PDR fuzzy relaying, and DWT relaying. The paper is constructed power system model including power transformer, utilizing the WatATP99, and data collection is made through simulation of various internal faults and inrush. As the results of test, the new proposed algorithm was proven to be faster and more reliable.

**Key Words** : Advanced protective relaying, DWT, Flux-differential current slope, PDR, Power transformer, WatATP99

### 1. 서 론

대용량 변압기는 전력 시스템에서 매우 중요한 요소이다. 변압기 보호를 위해서 전류신호만을 이용한 차동원리가 사용되는데, CT특성의 불일치를 고려하여 비율차동계전기법(Percentage Differential Relay : PDR)이 사용된다. 그런데 실제로는 철심의 비선형성으로 인하여 발생하는 여자돌입과 같은 과도현상이 발생 때문에 이에 대한 트립 오동작의 억제책을 갖춘 비율차동계전기법이 사용되고 있다. 현재 여자돌입시 비율차동계전기(87T)의 트립출력을 블로킹하는 방법으로는 주로 제2고조파 억제방식이 사용되고 있다[1,2]. 그런데 변압기의 철심 재료기술의 향상됨에 따라 여자돌입시 제2고조파성분이 상대적으로 감소하는 경향이 있으며, 내부고장시에도 제2고조파성분이 상당히 함유될 수 있다는 지적으로 인하여, 종래 사용되는 제2고조파 억제방식 비율차동계전 방식의 트립 오동작에 대한 우려가 제기 되었다. 이런 문제점을 개선하기 위하여 퍼지 기법과 쇄교자속비를 이용한 변압기 보호계전기법들이 연구되었다[3~6]. 또한 전압, 전류의 수치해석적인 분석을 통하여 전압, 전류의 추이만을 이용한 전력용 변압기의 보호계전 알고리즘이 발표[7]되었는데도 불구하고, 철심 재질의 개선에 따른 특이한 여자돌입

의 경우와 전력계통 고조파 환경변화에 따른 제2고조파 함유율이 높은 내부고장인 경우에 오·부동작이 발생할 수 있다. 한편 계전기의 하드웨어측면에서는, 고속의 신호처리 전용 DSP 소자를 채택함으로써 하드웨어가 간소화되면서 실시간 처리가 가능하도록 발전하고 있다[8~10]. 변압기 보호 업무는 전력 운전 자동화 시스템에 포함되어 무인화, 자동화됨에 따라 상위 시스템과의 데이터 통신이 필수적으로 요구되고 있으며, 변전소내 감시 및 제어기능을 포함한 변전소 종합자동화시스템(substation automation system : SAS)으로 발전하고 있다. 이에 따라 과거의 보호기능이외에 전체 시스템을 네트워크로 엮는 통신기술, 자기진단기술, 이벤트 및 고장데이터 저장기능과 관리기능을 포함하는 소위 차세대 통합보호제어장치(Intelligent Electronic Device : IED)에 대한 필요성이 급증하고 있다[11,12].

본 논문에서는 특이한 여자돌입과 내부고장을 확실하게 판별함으로써 계전기의 트립 오·부동작을 하지 않도록 하기 위해서, 자속-차전류 기울기 특성[4,16]을 이용한 개선된 보호 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 자속-차전류 기울기 특성에 대한 이론을 유도한 다음, WatATP99 소프트웨어를 이용하여 변압기 계통을 모델링한 후, 여러 가지 발생 가능한 과도여자돌입현상과 고장현상을 시뮬레이션 하였다[14~16]. 그리고 수집된 데이터 분석을 통하여 개선된 알고리즘의 타당성을 입증하였는데, 종래의 PDR, 퍼지논리 기법과 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 이용한 기법과 고장 판별시간과 여자돌입판별요인 등 여러 가지 항목에 대하여 비교·검토하였다.

\* 終身會員 : 原州大 電氣科 副教授 · 工博

\*\* 終身會員 : 成均館大 情報通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 2月 12日

最終完了 : 2004年 5月 5日

## 2. 자속-차전류 기울기특성을 이용한 변압기의 보호

### 2.1 자속-차전류 기울기 특성

자속-전류(  $\psi-i$  ) 특성은 변압기 과도상태 하에서의 87T 계전기 트립 오동작을 방지하기 위한 억제 함수를 얻기 위해 기본적으로 변압기의 자속-전류 곡선을 이용한다. 변압기 철심의 포화특성을 나타내기 위해 사용되는 자속-전류 곡선은 여자전류 즉 변압기 1차측의 전류를 사용하여 표시되지만, 자속-차전류 특성은 정상과 여자돌입은 물론 고장상태도 다를 필요가 있으므로 변압기의 1차측과 2차측 전류를 차전류를 사용하여 자속-차전류 곡선을 표시한다.

그림 1은 단상 2권선 변압기의 간략 모델이다. 변압기의 자속-차전류 곡선을 결정하는데 권선 저항의 영향은 미미하므로 무시한다.

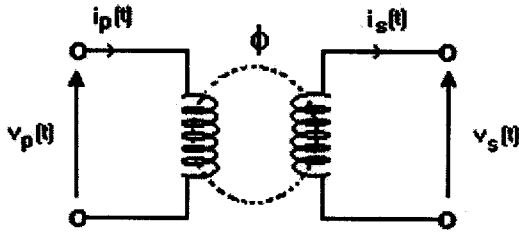


그림 1 단상 2권선 변압기 모델

Fig. 1 An one phase transformer with 2 wires

그러면 변압기의 1차측 전압  $v_p$  와 1차측 전류  $i_p$  그리고 상호 쇄교자속  $\psi$ 의 관계는 1차측 KVL에 따라 식(1)이 된다.

$$L_p \frac{di_p(t)}{dt} + \frac{d\psi(t)}{dt} = v_p(t) \quad (1)$$

여기서  $L_p$ 는 1차 권선의 쇄교 인덕턴스이다. 식(1)을 재배치하고 시간  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지 적분함으로써, 이 시간동안의 쇄교자속을 구하면 식(2)가 된다.

$$\psi(t_2) - \psi(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} v_p(t) dt - L_p [i_p(t_2) - i_p(t_1)] \quad (2)$$

식(2)의 적분에 사다리꼴 공식을 적용하면 식(3)이 된다.

$$\psi(t_2) \approx \psi(t_1) + \frac{1}{2}(t_2 - t_1)[v_p(t_2) + v_p(t_1)] - L_p [i_p(t_2) - i_p(t_1)] \quad (3)$$

이때  $v$ 와  $i$ 의 파형이  $\Delta t$ 의 샘플링 간격으로 샘플링 된다면,  $k$ 번째 샘플에서 식(3)은 샘플의 표기법을 사용하면 식(4)와 같이 표현된다.

$$\psi_k = \psi_{k-1} + \frac{1}{2} \Delta t (v_{p,k} + v_{p,k-1}) - L_p (i_{p,k} - i_{p,k-1}) \quad (4)$$

여기서  $i_{p,k}$ ,  $v_{p,k}$ 는 1차측  $v$ ,  $i$ 의  $k$ 번째 샘플이다. 따라서 위의 식(4)는 변압기의 상호 쇄교자속  $\psi$ 를 계산하는데 쓰일 수 있다. 한편 1차 및 2차측 전류들로부터 차전류  $i_{d,k}$ 는 시점  $t_k$ 에서 식(5)를 이용하여 구할 수 있다.

$$i_{d,k} = i_{p,k} - i_{s,k} \quad (5)$$

여기서  $i_{s,k}$ 는 2차측 전류의  $k$ 번째 샘플이다. 그런데 변압기 이론에서 보면, 여자돌입시에는 차전류  $i_{d,k}$ 가 그 변압기의 여자전류와 같기 때문에 식(4)에 의해 계산된 자속쇄교는 변압기내 자속의 실제적인 표현으로 간주될 수 있으며, 차전류와 쇄교자속의 샘플들인(  $i_{d,k}$ ,  $\psi_k$  )은 그 변압기의 개회로 여자곡선(open circuit magnetizing curve)과 일치할 것이다[13]. 그림 2는 본 연구에서 선정된 변압기의 정상운전 상태시 식(4), 식(5)를 이용하여 계산된 차전류와 쇄교자속 샘플들의 추이이다. 그림 2와 같이 차전류와 쇄교자속들이 대상 변압기의 실제 자속-차전류 곡선을 나타낼 수 있음을 보여준다.

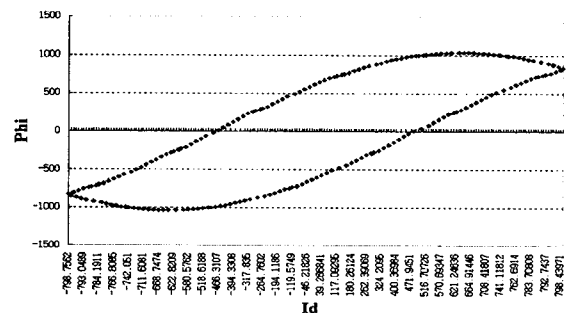


그림 2 WatATP99로 모의된 변압기의 자속-차전류 곡선

Fig. 2 Flux-differential current curve of a transformer simulated by WatATP99

따라서 매순간마다 계전신호  $i_{p,k}$ ,  $i_{s,k}$ ,  $v_{p,k}$ 를 이용하여(  $i_{d,k}$ ,  $\psi_k$  )를 구함으로써  $\psi-i$  곡선에 의한 변압기의 고장판별 알고리즘을 구성할 수 있다. 그런데 이 자속-차전류 특성을 사용할 경우, 변압기 내부의 잔류자속은 0이 아니기 때문에, 이 방법으로 계산된(  $i_{d,k}$ ,  $\psi_k$  )점의 위치는 대상 변압기의 실제 여자특성곡선과 일치하지 않게 된다. 결국 매 순간마다 변화하는 잔류자속의 양을 정확히 추정해낼 방법이 없기 때문에 적용될 수 없게 된다. 이 문제를 극복하기 위하여 실제로는, 자속-차전류 평면(flux-differential current plain)상에서 자속-차전류 자체보다는 그 기울기를 이용할 수 있다. 즉 샘플  $k$ 의 시점에서의 자속-차전류 평면상의 기울기  $d\psi_k/di_{d,k}$ 는 식(6)과 같이 정의된다[4].

$$\left(\frac{d\psi}{di_0}\right)_k = \frac{\left\{\frac{1}{2}\Delta t(v_{p,k} - v_{p,k-1}) - L_p(i_{p,k} - i_{p,k-1})\right\}}{\{(i_{p,k} - i_{s,k}) - (i_{p,k-1} - i_{s,k-1})\}} \quad (6)$$

여기서 첨자 p와 s는 각각 변압기의 1차측과 2차측을 의미하고,  $\Delta t$ 는 한 샘플의 간격이며,  $L_p$ 는 변압기 1차측의 누설 인덕턴스를 의미한다.

그림 3의 (a), (b), (c)는 본 연구에서 모의한 정상, 여자 돌입 및 내부고장 상태시의 출력 데이터에 대해 식(6)을 이용하여 계산된 시간에 따른 추이를 나타낸다. 그림 3으로부터 정상상태에서의 자속-차전류 기울기값은 대체로 0을 유지하며, 여자돌입에서는 -15와 0의 두 영역사이를 번갈아서 드나들고 있으며, 또한 내부고장상태에서는, -15 정도의 값을 유지하는 것을 알 수 있다. 그러므로 한 샘플윈도우내에서 자속-차전류 기울기값의 값을 활용하면 변압기의 내부고장과 여자돌입의 판별이 가능하게 된다.

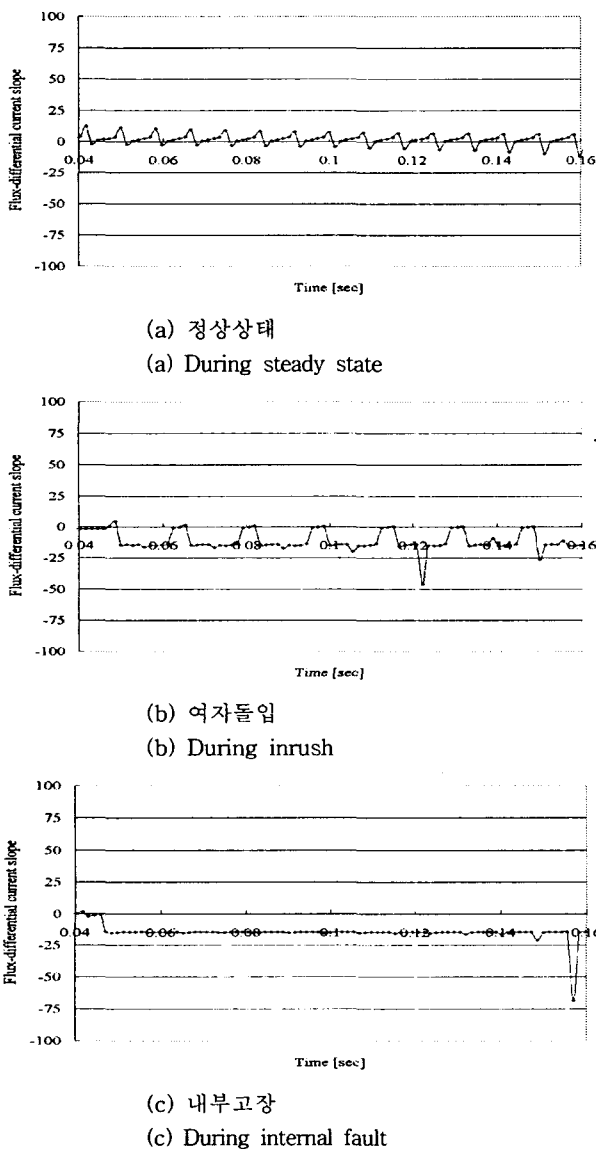


그림 3 자속-차전류 기울기 값의 시간에 따른 추이  
Fig. 3 Transition characteristics of flux differential current slope

## 2.2 개선된 보호계전 알고리즘

변압기의 여자돌입과 같은 외란과 내부고장을 확실하게 판별할 수 있는 개선된 알고리즘의 흐름도는 그림 4와 같다. 본 알고리즘의 도입부에서는, 여러 가지 임계치와 판단 기준, CT결선 등 정정값들의 초기치를 설정하게 된다. 다음, 연산부에서는 단자전압의 상승률과 차전류의 실효치와 순시치, 차전류의 영점 부근의 주기, DFT에 의한 제2고조파 및 제5고조파의 비율을 계산하게 되고 끝으로 자속-차전류 기울기를 계산하게 된다. 사고판정부에서, 과여자는 단자전압의 상승률과 제5고조파의 변동과 지속여부에 따라 판별한다. 그리고 여자돌입과 내부고장에 대한 확정적 판정은, 영점부근의 차전류 형태와 종래의 제2고조파 비율에 추가해서 제안된 자속-차전류 기울기의 변화에 의하여 하게 된다. 즉 자속-차전류 기울기의 변화를 이용하여 제2고조파성분이 적게 포함되어있는 여자돌입과 제2고조파 성분이 많이 포함되어 있는 내부고장 등 특이한 여자돌입과 내부고장의 경우를 최종 판정하게 된다. 여기서 F-CNT는 고장상태를 나타내는 Flag이고, I-CNT는 여자돌입상태를 나타내는 Flag이다.

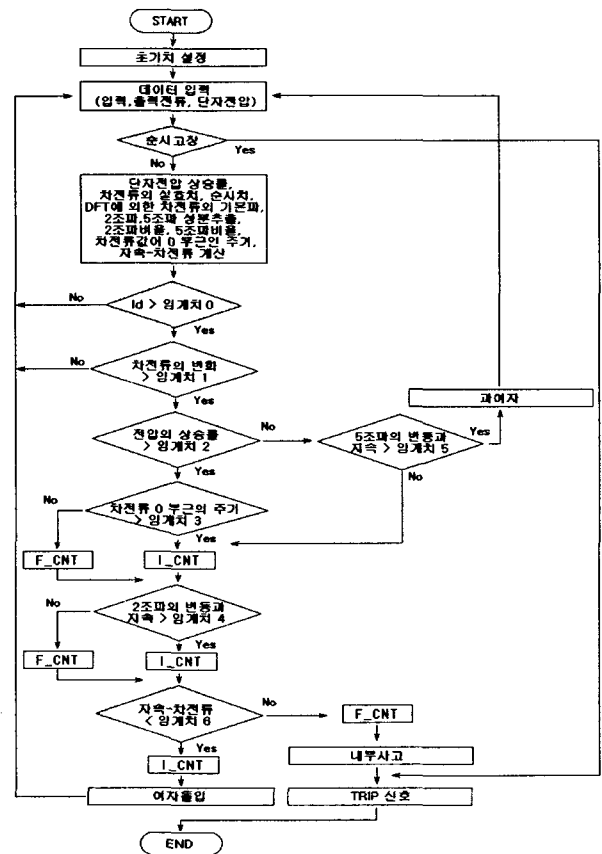


그림 4 고장 판별을 위한 개선된 알고리즘의 전체 흐름도  
Fig. 4 Flow chart of advanced algorithm for fault discrimination

### 3. 사례연구

#### 3.1 모델 전력계통

그림 5는 선정된 모의계통이다.  $\Delta$ -Y 결선인 3상 2권선 154kV/22.9kV 변압기와 ACSR 송전선으로 구성하였다. 여자돌입 시뮬레이션은 포화 변압기모델을 이용하였으며, 내부고장 시뮬레이션은 BCTRAN에 의해 얻어지는 변압기의 임피던스 행렬에 의해 고장 발생 권선을 나누어 모델링을 수행하였다[4,14,15]. EEUG버전인 WatATP99 소프트웨어에 의하여 여러 가지 여자돌입, 내부고장의 데이터를 수집하였다. 이때 샘플링 주파수는 60[Hz] 시스템에서 720[Hz]인 주기당 12 샘플링과 8640[Hz]인 주기당 144 샘플링을 취하였다.

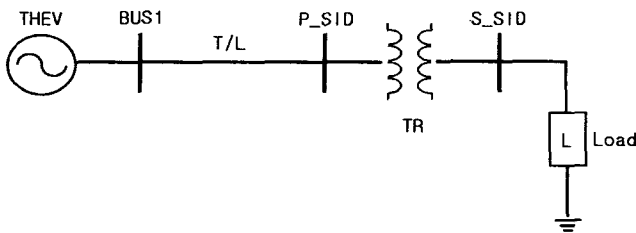


그림 5 모의 계통  
Fig. 5 Simulation model system

#### 3.2 개선된 알고리즘의 성능 평가

##### 3.2.1 지락고장의 경우

변압기 1차측  $\Delta$ 결선 B,C상 권선의 권선비가 80:20인 부분에서 0.051393[sec] 시점에서 권선 지락고장이 발생한 경우이다. 고장이 발생한 직후 고장상의 전압은 감소하고 고장상의 전류는 매우 상승한다. 고장이 발생한 직후 B상 보다는 C상의 변화가 더 크고, 고장이 발생한 1차측 크기 변화가 2차측 보다 현저하게 된다.

그림 6은 지락고장의 경우 제안된 개선 알고리즘과 퍼지논리 알고리즘에 의한 비퍼지값[4], 이산웨이브렛 알고리즘에 의한 detail 1의 비율[3]에 의한 고장 판별결과이다. 그림 6으로부터, 제안된 기법에 의한 고장검출에 걸리는 시간은 고장발생이후 6번째 샘플시점인 약 반주기(8.34[msec]) 정도로서 가장 신속한 것을 알 수 있다.

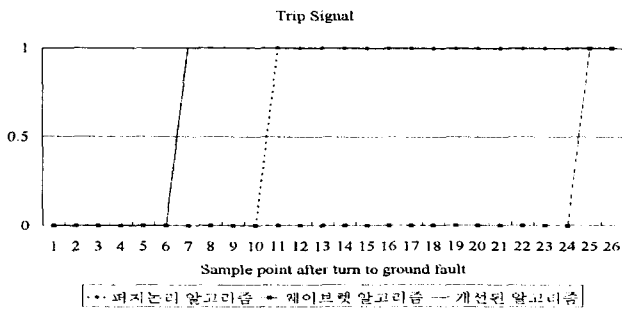


그림 6 지락고장시의 고장판별  
Fig. 6 Fault discriminant under turn to ground fault

##### 3.2.2 단락고장의 경우

변압기 1차측  $\Delta$ 결선 B,C상 권선의 5:80:15인 부분에서 0.051393[sec] 시점에서 권선 단락고장이 발생한 경우이다. 고장이 발생한 직후 고장상의 전류는 시간 축에 대해 상호대칭인 형태로 그 크기가 증가하여 나타나는 반면 다른 한상의 전류는 큰 변화 없이 정상상태와 유사하게 나타난다.

그림 7은 단락고장의 경우 제안된 개선 알고리즘과 여러 가지 알고리즘에 고장 판별결과이다. 그림 7로부터 제안된 기법에 의한 고장검출에 걸리는 시간은 고장발생이후 6번째 샘플시점인 약 반주기(8.34[msec]) 정도로서 가장 신속한 것을 알 수 있다.

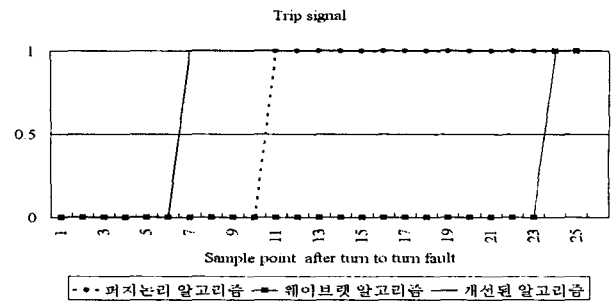


그림 7 단락고장시의 고장판별  
Fig. 7 Fault discriminant under turn to turn fault

##### 3.2.3 여자돌입의 경우

WatATP99에서 0.04448[sec] 시점에서 변압기를 계통에 투입한 경우에 발생한 3상 여자돌입전류에 대한 것이다. 여자돌입전류의 크기는 전압 위상이 0°에서 인가될 때가 가장 크며 90°에서 인가될 때가 가장 작게 나타난다. 시정수에 따라 여자돌입상태의 지속시간이 달라지는데, 이때 대개 제2고조파 성분을 많이 함유하게 된다. 여자돌입시에는 가압측에만 매우 큰 전류가 흐르게 된다.

그림 8은 여자돌입의 경우 제안된 개선 알고리즘과 여러 가지 알고리즘에 의한 고장 판별결과이다. 3가지 기법 모두 트립 오동작을 하지 않는 것을 알 수 있으며, 제안된 기법에 의한 여자돌입 판별에 걸리는 시간이 여자돌입이후 약 2/3 주기(11.11[msec]) 정도로서 가장 신속하였다.

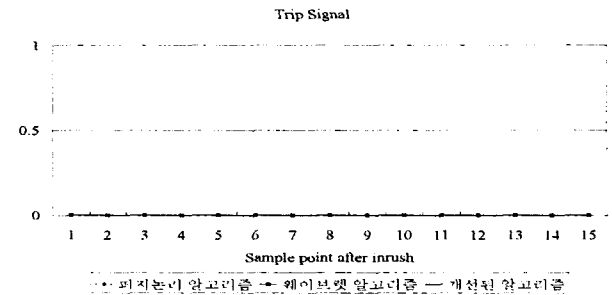


그림 8 여자돌입시의 고장판별  
Fig. 8 Fault discriminant during inrush

##### 3.2.4 제2고조파의 함유율이 적은 여자돌입의 경우

제2고조파가 적게 함유된 여자돌입의 경우와 제2고조파가 많이 함유된 내부고장과 같은 특이한 경우에 대한 시뮬레이션

선은, WatATP99를 이용한 시뮬레이션을 수행한 다음에 수집된 여자돌입 및 내부고장의 파형 List를 MS Excel 프로그램을 이용하여 일정비율의 제2고조파 성분을 함유하거나 제거함으로써 특이한 파형을 생성하였다. 그림 9는 제2고조파의 함유율이 적은 여자돌입시의 1차측 3상 전류신호이고, 그림 10은 이 전류를 DFT를 이용하여 계산된 기본파에 대한 제2고조파 비율인데, 기본파에 대한 제2고조파의 비율이 약 10%정도로 적게 함유된 특이한 여자돌입의 경우를 나타낸다.

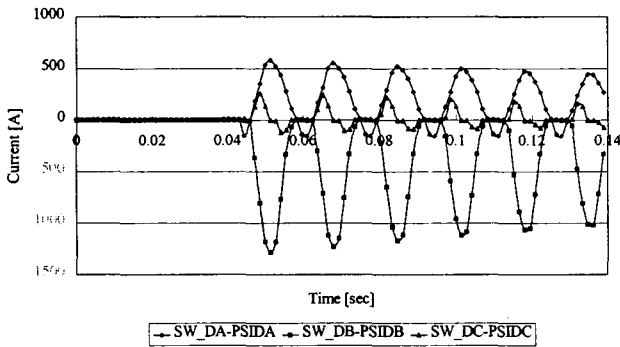


그림 9 제2고조파의 함유율이 낮은 여자돌입시의 1차측 3상 전류신호  
 Fig. 9 Three phase current signal in primary side during inrush with low 2nd frequency ratio

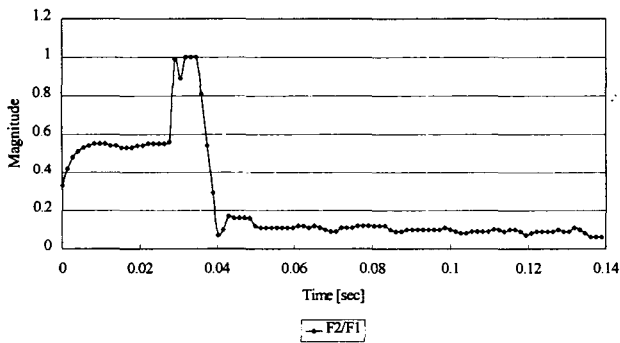


그림 10 제2고조파의 함유율이 적은 여자돌입시의 기본파에 대한 제2고조파 크기  
 Fig. 10 Magnitude of 2nd frequency over 1st frequency during inrush with low 2nd frequency ratio

그림 11은 특이한 여자돌입의 경우 제안된 개선 알고리즘과 퍼지 알고리즘, 종래의 PDR에 의한 고장 판별결과이다. 제안된 개선 알고리즘과 퍼지 알고리즘 2가지 기법은 모두 자속-차전류 기술기 특성을 도입에 따른 Flag I-CNT이 올바른 동작을 표시하게 된다. 이로 인하여 계전기 트립 오동작이 발생하지 하지 않았으나, 종래 PDR에 의해서는 트립 오동작이 발생하는 것을 알 수 있다. 한편 제안된 기법에 의한 여자돌입 검출에 걸리는 시간이 여자돌입이후, 9번째 샘플로서 약 2/3주기(11.11[msec]) 정도로서 가장 신속함을 알 수 있다.

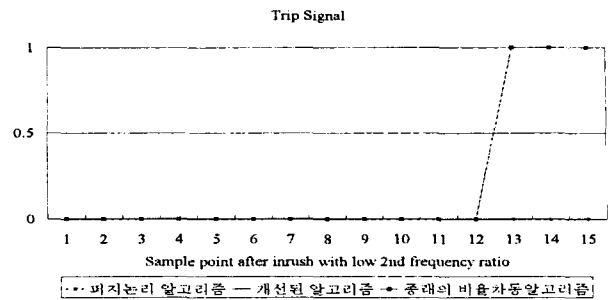


그림 11 제2고조파의 함유율이 적은 여자돌입시의 고장판별  
 Fig. 11 Fault discriminant during inrush with low 2nd frequency ratio

3.2.5 제2고조파의 함유율이 높은 지락고장의 경우

그림 12는 제2고조파의 함유율이 많은 지락고장시의 1차측 3상 전류신호이고, 그림 13은 DFT를 이용하여 계산된 기본파에 대한 제2고조파의 비율인데 약 35%정도로 많이 함유된 특이한 지락고장의 나타낸다.

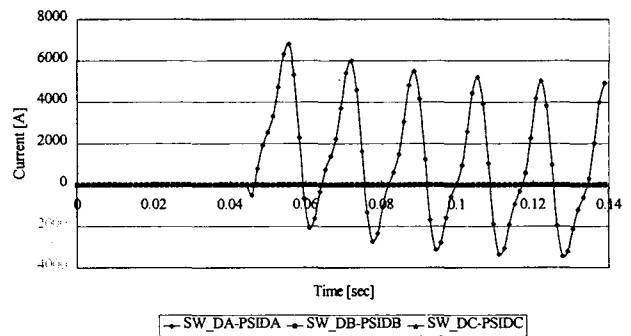


그림 12 제2고조파의 함유율이 높은 단자 지락고장시의 1차측 3상 전류신호  
 Fig. 12 Three phase current signal in primary side under terminal to ground fault with high 2nd frequency ratio

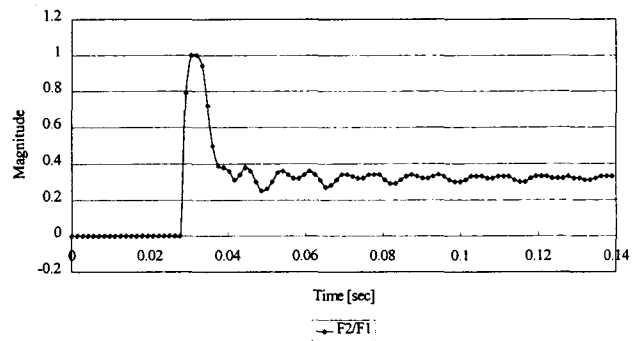


그림 13 제2고조파의 함유율이 높은 단자 지락고장시의 기본파에 대한 제2고조파의 크기  
 Fig. 13 Magnitude of 2nd frequency over 1st frequency during terminal to ground fault with high 2nd frequency ratio

그림 14는 특이한 단자 지락고장의 경우 제안된 개선 알고리즘과 여러 가지 알고리즘에 의한 고장 판별결과이다. 자속-차전류 기율기에 따른 Flag F-CNT의 올바른 상태 판정으로 인하여 특이한 고장에 대해서도 정동작을 하는 것을 알 수 있다. 제안된 기법에 의한 고장검출에 걸리는 시간은 고장발생이후 약 반주기(8.34[ms]) 정도로 가장 신속함을 알 수 있다.

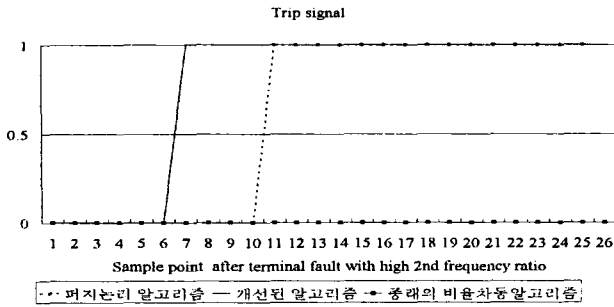


그림 14 제2고조파의 함유율이 높은 단자 지락고장시의 고장판별

Fig. 14 Fault discriminant under terminal to ground fault with high 2nd frequency ratio

3.3 개선된 알고리즘에 대한 결과 고찰

표 1은 제안된 기법과 비율차동계전(PDR) 및 전압, 전류 추이 기법[7]에 대한 비교이다. 종래의 PDR 알고리즘은 전류신호만을 이용하는 전류비율차동계전이다. 개선된 알고리즘과 전압, 전류 추이 알고리즘은 전압의 신호도 사용한다. 특히 개선된 알고리즘은 특이한 여자돌입과 내부고장 판별을 위하여 자속-차전류 기율기를 계산할 때 전압, 전류의 순시치 값이 사용되게 된다. PDR은 차전류와 억제전류 그리고 그 비율을 이용하는데, 제안된 알고리즘과 전압, 전류 추이 알고리즘은, 차전류와 억제전류의 비율을 사용하지 않는 차동알고리즘이라고 할 수 있다. 전형적인 여자돌입의 경우와 내부고장시에는 3가지 기법 모두 정동작을 수행하게 된다. 그러나 변압기 철심 재질의 변화에 따라 여자돌입시 제2고조파가 적게 발생하는 경우와 고압화와 지중화에 따른 커패시턴스의 증가로 인해서 발생 가능한 내부고장시, 즉 차전류에 제2고조파가 많이 포함되어 있는 특이한 경우에 PDR은 오동작이 확실시되고, 전압, 전류 추이기법은 정동작을 보장할 수가 없었다. 그러나 제안된 개선 알고리즘은 특이한 여자돌입과 내부고장 경우에 계전기 트립 정동작이 입증되었다. 이는 자속-차전류 기율기의 특성이 특이한 여자돌입과 내부고장을 판별하는데 확실한 원칙으로 사용되었으며, 본 논문에서 제안된 자속-차전류 기율기 특성이 다른 알고리즘과 구별되는 특징이 된다. 한편 개선 알고리즘에서의 과여자 판단에는 제5고조파의 변동율과 단자전압의 상승률이 적용되었다. 기본과, 제2고조파 및 제5고조파의 추출을 위해서는 모두 DFT 필터를 이용하였다. 고장판별속도측면에서는 전압, 전류 추이 기법과 제안된 개선 알고리즘 모두 약 반주기 정도(8.34[msec])이 내로 신속했다.

표 1 제안된 기법과 PDR 및 전압, 전류 추이 기법의 비교  
Table 1 Comparison of proposed relaying and PDR and V,I trend relaying

항목 \ 기법	제안된 개선 알고리즘	비율차동계전 알고리즘	전압, 전류추이 알고리즘
계전 신호	전압, 전류	전류	전압, 전류
비율차동여부	차동만 사용	비율차동 사용	차동만 사용
여자돌입 판단	차전류, 파형의 형태, 제2고조파 비율, 자속-차전류 기율기특성	제2고조파 비율	차전류, 파형의 형태, 제2고조파 비율
과여자 판단	전압의 상승률 제5고조파의 변동율	제5고조파 비율	전압의 상승률
이동 윈도우 길이	1주기	1주기	1주기
디지털 필터	DFT	DFT	DFT
자속-차전류 특성기법	사용함	사용하지 않음	사용하지 않음
제2고조파 적은 여자돌입의 경우	정동작 (여자돌입 판별)	오동작 가능함	정동작 보장 못함
제2고조파 많은 내부고장의 경우	정동작 (내부고장 판별)	오동작 가능함	정동작 보장 못함
고장판별시간 (여자돌입검출포함)	8.34~11.11 [msec]	33.33[msec]	8.34[msec]이내

4. 결 론

본 논문에서는 단자전압의 실효치 변동, 차전류의 순시치와 실효치 변동, 차전류의 파형 특성과 고조파, 자속-전류 기율기 특성을 분석하여 변압기의 내부사고와 내부사고가 아닌 여자돌입 등 외란 상태를 정확하고 신속하게 구분 할 수 있는 개선된 보호알고리즘을 제안하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다

- (1) 제안된 알고리즘은 자속-차전류 기율기 특성을 도입하여 특이한 여자돌입과 내부고장의 경우에 계전기의 트립 오동작을 야기할 수 있는 종래 PDR 알고리즘의 문제점을 개선하였다.
- (2) 제안된 기법은 여자돌입 판별시에 제2고조파의 함유율만을 의존하지 않기 때문에 철심 재질 개선과 계통의 환경변화로 발생할 수 있는 종래의 제2고조파 억제법에 의한 오동작을 방지할 수 있다.
- (3) 여자돌입의 경우에는 약 2/3주기이내에 여자돌입 판별이 가능하였고, 내부고장의 경우에는 약 1/2주기이내에 신속하게 고장검출이 가능하였다.
- (4) 종래의 PDR, 퍼지논리 및 DWT에 의한 알고리즘과 비교한 결과 고장판별속도 뿐만 아니라 여러 가지 비교항목에 대해서도 제안된 개선 기법의 우수성을 입증하였다.

이상에서 서술한 바와 같이 제안된 기법은 단자전압과 입·출력전류를 이용한 수치알고리즘으로서 실시간 처리와 계전기 하드웨어 구현이 용이하고 특히 제2고조파의 함유율만을 의존하지 않기 때문에 제안된 기법은 제2고조파 억제법이 내장된 비율차동계전기법의 보안과 대안으로 사용이 가능하다고 생각된다. 향후 실제계통 데이터의 비교·분석을 통하여 과여자 상태를 고려한 연구가 계속되어야 할

것이며, SAS를 위한 핵심기술인 IED의 기술개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 한국전력공사 전력연구원, "보호제어 유니트의 소프트웨어", 변전소종합보호제어 시스템설계 및 제작기술 개발 최종보고서 부록, pp. 1-87, 1997.2.

[2] 유상봉, 임성준, 강창원, 이순형, 한찬호, 박용덕, 전명수, 이규복, 김정철 공저, "보호계전 시스템의 실무활용 기술", 도서출판 기다리, pp. 258-271, 2002.3.

[3] 박철원, 권명현, 신명철, "도비서 웨이브렛변환을 이용한 변압기의 여자돌입과 내부고장 판별논리기법", 대한전기학회 논문지, 50A권 5호, pp. 211~217, May 2001.

[4] 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.

[5] 강용철, 이병은, 김은숙, 원성호, "쇄교자속비를 이용한 변압기 보호", 대한전기학회 논문지, 52A권 11호, pp. 655-660, Nov. 2003.

[6] Sun Zhijie, Zeng Xianhua, Tang Hansong, et al., "Flux Restrained Transformer Differential Protection", 2003 ACPSP, Vol.1, pp. 299-303, Oct. 2003.

[7] Sang-Tae Kim, Bo-Geon Jin, Seung-Jae Lee, Sang-Hee Kang, Myeon-Song Choi, Sang-Hyun Yoon, Tae-Sung Lee, Sang-Ki Chung, "v-i trend-based protective relaying algorithm for 3-phase power transformer", Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE, Volume: 1, July pp. 605-610.

[8] 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.

[9] 권기백, 서희석, 신명철 "DSP의 DMA 제어기를 이용한 변압기용 디지털 보호계전기의 성능향상", 대한전기학회 논문지, 52A권 11호, pp. 647-653, Nov. 2003.

[10] 박철원, 박재세, 신명철 외, "전력용 변압기를 위한 IED의 설계에 관한 연구", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 268-270, July 2003.

[11] Alexander, R.L., "Intelligent electronic device (IED) technology SCADA and 3Ø metering", Rural Electric Power Conference, 2002, pp. C6-C6\_3, IEEE 2002.

[12] 명지대학교 차세대전력기술센터, "Next-Generation Protection Technology", pp. 1-214 Feb. 2002.

[13] A.T. Johns, S.K. Salman, "Digital Protection for Power System", IEEE POWER SERIES 15, Peter Peregrinus Ltd., pp. 183-187, 1995.

[14] 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.

[15] 강상희, 이승재, 김일동, 김명철, 김기화, "차동전류 보호계전을 위한 변압기 특성분석", 1996년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 671-673, July 1996.

[16] 박철원, 박재세, 신명철, "변압기 보호용 IED를 위한 개선된 알고리즘의 비교", 2003년도 대한전기학회 전력기술부론회 추계학술대회 논문집, pp. 210-212, Nov. 2003.

감사의 글

본 연구는 2003년도 산업자원부 전력산업연구개발사업 전력기술기초연구에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

저 자 소 개



박철원 (朴哲園)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1989년~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993년~1996년 프로컴시스템 기술연구소 선임연구원. 1993년~1997년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997년~현재 국립원주대학 전기과 부교수.

Tel : 033-760-8425  
 Fax : 033-760-8420  
 E-mail : cwpark@sky.wonju.ac.kr



신명철 (申明澈)

1947년 4월 3일생. 1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1978년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1975년~1978년 충북대학교 전기공학과 조교수. 1982년~1983년 미국 코넬대 전기공학과 교환교수. 2000년~2001년 미국 펜실바니아 주립대 전기공학과 교환교수. 1978년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수. 대한전기학회 차기회장.

Tel : 031-290-7103  
 Fax : 031-290-7103  
 E-mail : mcshin@yurim.skku.ac.kr