변압기 내부고장에 따른 차전류의 고조파 분석

박 재 세
시립인천전문대학

Harmonic analysis of differential current by internal fault on transformer

Jae-se Park
Incheon City College

1. 서 론

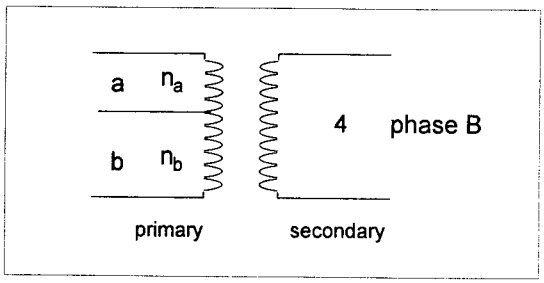
전력용변압기는 전력시스템에서 전력을 변환하여 전달해주는 매우 중요한 기기이며, 변압기는 다른 계통요소에 비하여 사고빈도는 적은 편이나 전력계통의 송전용량이 대폭 증가하기 때문에, 사고가 발생하면 장기간의 운전정지에 의한 경제적인 손실 등 계통에 미치는 충격이 크다. 따라서 변압기의 사고에 신속하게 대처하기 위하여 새로운 제어기술이 적용된 보호계전기가 요구되고 있다.

본 논문에서는 변압기 내부고장을 판별하기위하여 내부 고장시에 발생하는 차전류의 고조파에 대하여 분석을 하여 보고자 한다.

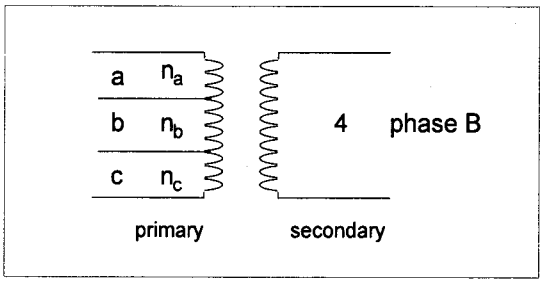
2. 본 론

2.1 내부고장 모델링

내부고장은 고장발생 권선을 나누어 모델링한다. 그림 1(a)은 1차측 B상에서 권선지락고장이 발생한 경우이다. a와 b로 나누어져 권선비가 n_a:n_b인 부분에서 지락고장이 발생한 경우 정상상태의 6×6 행렬은 식(1)의 7×7 행렬로 변형된다. 그림 1(b)은 1차측 B상에서 권선단락고장이 발생한 경우이다. a, b, c로 나누어져 권선비가 n_a:n_b:n_c인 부분에서 단락고장이 발생한 경우 정상상태의 6×6 행렬은 식 (2)의 8×8 행렬로 변형된다.



〈그림 1(a)〉 1차측 B상에서의 지락고장



〈그림 1(b)〉 1차측 B상에서의 단락고장

$$[R'_{ij}]=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix}$$

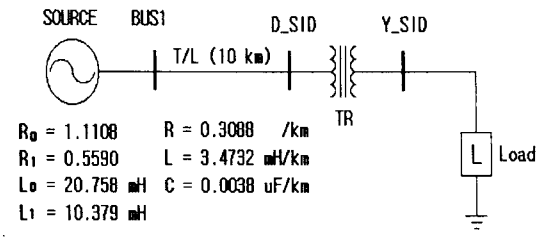
$$[L'_{ij}]=\begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{1a} & M_{1b} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & L_2 & M_{2a} & M_{2b} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{a1} & M_{a2} & L_a & M_{ab} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6} \\ M_{b1} & M_{b2} & M_{ba} & L_b & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6} \\ M_{41} & M_{42} & M_{4a} & M_{4b} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{5a} & M_{5b} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{6a} & M_{6b} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[R''_{ij}]=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix}$$

$$[L''_{ij}]=\begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{1a} & M_{1b} & M_{1c} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & L_2 & M_{2a} & M_{2b} & M_{2c} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{a1} & M_{a2} & L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6} \\ M_{b1} & M_{b2} & M_{ba} & L_b & M_{bc} & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6} \\ M_{c1} & M_{c2} & M_{ca} & L_{cb} & M_c & M_{c4} & M_{c5} & M_{c6} \\ M_{41} & M_{42} & M_{4a} & M_{4b} & L_{4c} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{5a} & M_{5b} & L_{5c} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{6a} & M_{6b} & L_{6c} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 모델 전력계통

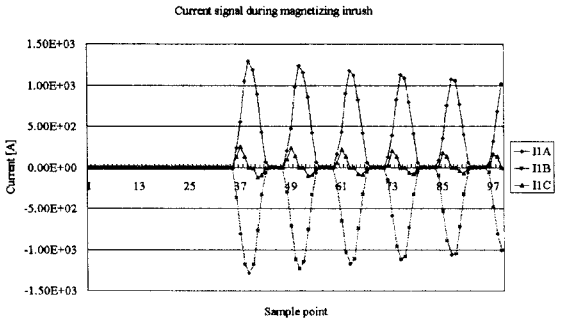
그림 3은 모델 전력계통이다. 송전선은 ACSR의 데이터를 이용하였고, 변압기는 3상 2권선으로 154/22.9㎸, Δ-Y 결선, 용량은 45/60MVA 이다. 개발된 보호계전기법과 IED 성능시험을 위하여 EMTP 소프트웨어의 포화변압기 모델을 이용하여 여자돌입과 과여자 데이터를 얻었고, BCTRAN을 이용하여 내부고장 데이터를 수집하였다.



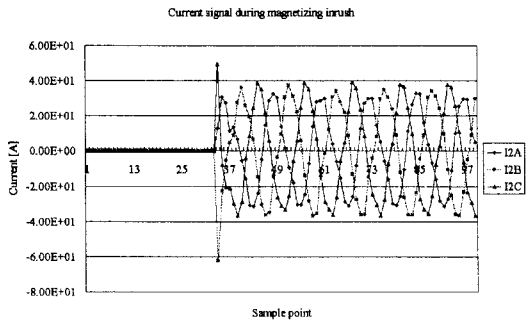
<그림 3> 모델 전력계통

3.3 여자돌입과 내부고장 시뮬레이션

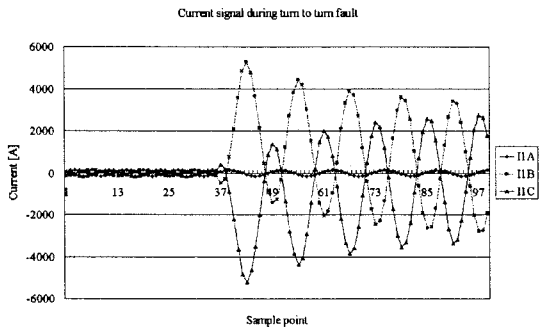
그림 4는 0.044초 후에 변압기를 계통에 투입한 경우의 여자돌입전류이다. 그림 5는 변압기 1차측 Δ결선의 B상 권선의 5:80:15인 부분에서 내부권선단락고장이 0.048초 후에 발생된 경우이다.



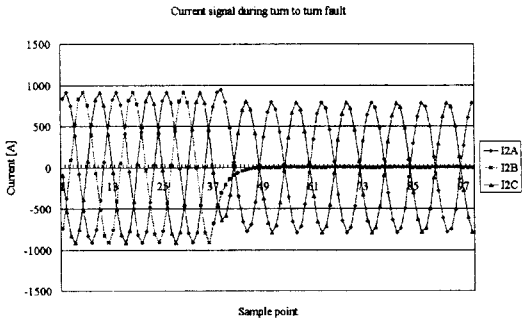
<그림4(a)> 1차측 전류



<그림4(b)> 2차측 전류



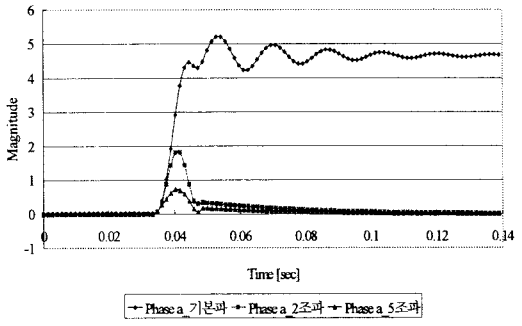
<그림5(a)> 1차측 전류



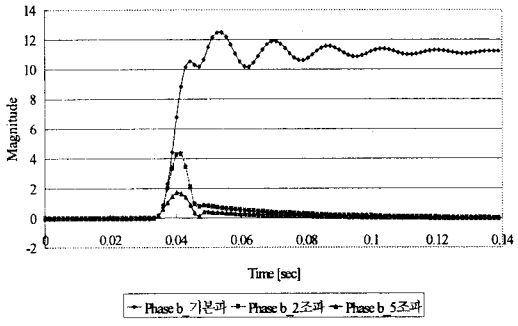
<그림5(b)> 2차측 전류

2.3 전류 데이터의 고조파 분석

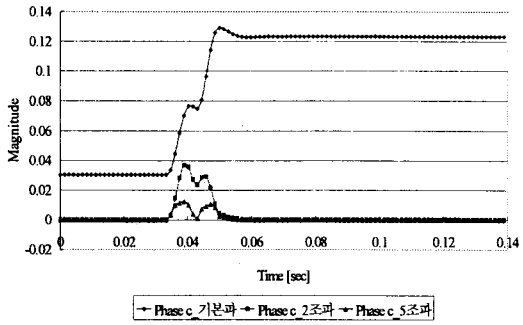
각 외란에 대해서 차전류가 발생하게 되고 이에 따라 차전류의 고조파 성분의 함유정도도 달라진다. 디지털계전기에서는 일반적으로 DFT를 이용하여 고조파를 분석하고, 원하는 주파수 성분을 추출하게 된다. 여자돌입과 내부사고의 경우, 차전류의 고조파성분을 분석하여보면, 그림 6, 그림 7, 그림 8은 내부 지락시의 차전류의 고조파 분석을 나타낸다. 그림과 같이 내부 지락사고가 발생되면, 고장과 관련된 상에는 기본파의 크기는 상승하게 되며, 제2고조파 및 제5고조파 성분은 일시적으로 커졌다가 감소하게 된다. 이때 기본파성분은 약 2.5주기 동안 과도상태에 있게 되며, 제2고조파 및 제5고조파성분은 약 1주기 동안의 과도상태가 지속된다.



<그림 6> 내부 지락사고시 a상 차전류의 고조파

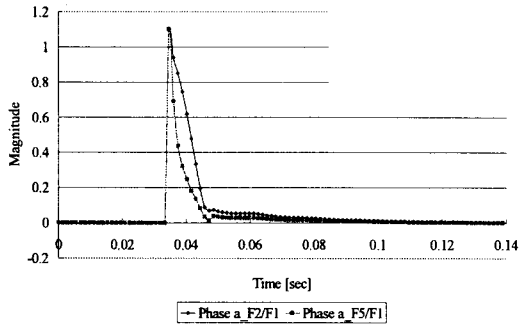


<그림 7> 지락 사고시 b상 차전류의 고조파

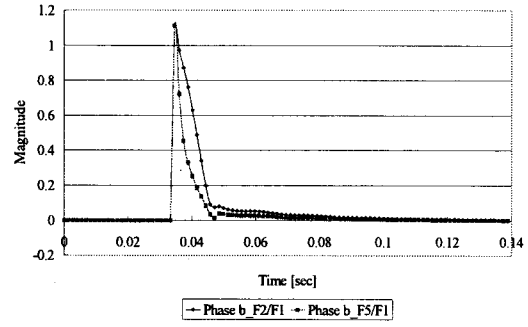


〈그림 8〉 지락사고시 c상 차전류의 고조파

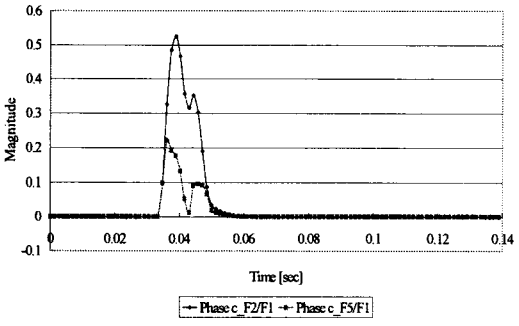
그림 9, 그림 10, 그림 11은 기본파에 대한 제2고조파와 제5고조파의 비를 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 기본에 대한 제2고조파와 제5고조파의 비는 약 1주기의 과도상태 기간을 제외하고 그 크기는 10%이하로 작음을 알 수 있다.



〈그림 9〉 지락사고시 a상 차전류의 고조파 비율

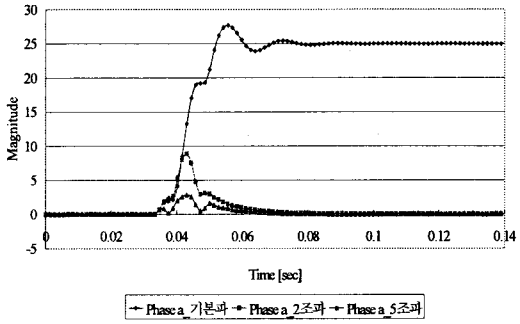


〈그림 10〉 내부 지락사고시 b상 차전류의 고조파 비율

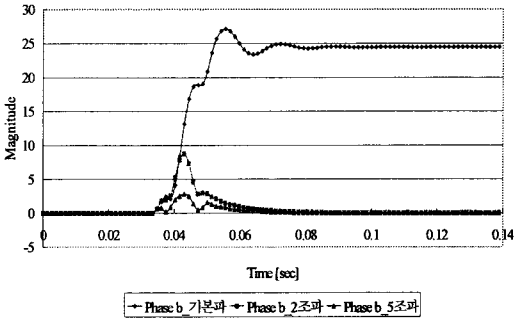


〈그림 11〉 지락사고시 c상 차전류의 고조파 비율

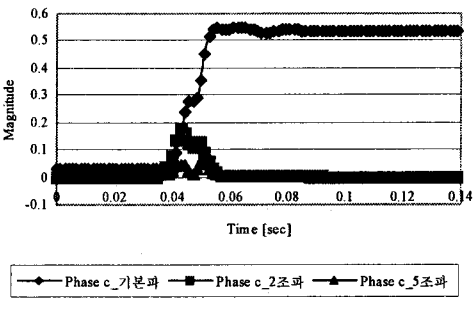
그림 12, 그림 13, 그림 14는 내부 단락사고시의 차전류의 고조파 분석을 나타낸다. 그림과 같이 내부 단락사고가 발생되면, 고장과 관련된 상에서, 기본파의 크기는 상승하게 되며, 제2고조파 및 제5고조파 성분은 일시적으로 커졌다가 감소하게 된다. 이때 기본파성분은 약 2주기 동안 과도상태에 있으며, 2고조파 및 5고조파성분은 내부 단락사고의 경우보다 과도상태의 지속시간이 길게 나타난다. 그림 15, 그림 16, 그림 17은 기본파에 대한 제2고조파와 제5고조파의 비를 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 기본파에 대한 제2고조파 비는 내부 지락사고에 비하여 동요가 작으나, 기본파에 대한 제5고조파의 비는 내부 단락사고의 경우 보다 그 과도상태 동요기간이 길게 나타난다. 과도상태의 기간을 제외하고 그 크기는 10%이하로 작음을 알 수 있다. 즉, 내부사고인 경우에는, 제2고조파와 제5고조파가 기본파에 비하여 매우 작게 함유되는 것을 알 수 있다.



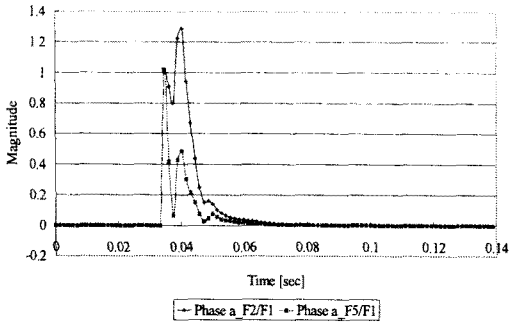
〈그림 12〉 단락사고시 a상 차전류의 고조파



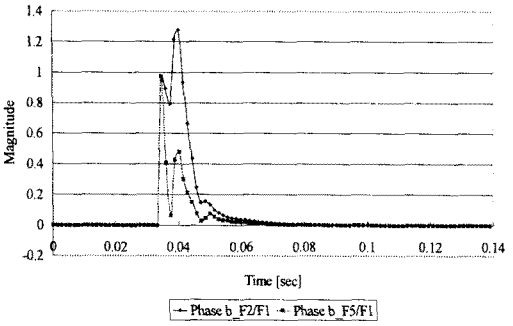
〈그림 13〉 단락사고시 b상 차전류의 고조파



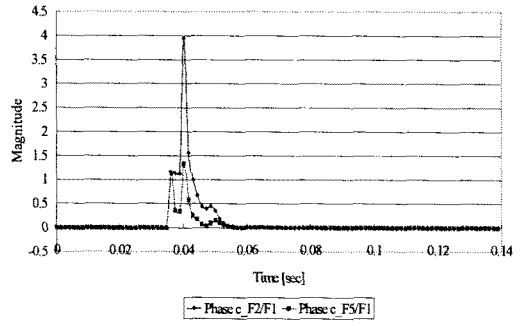
〈그림 14〉 단락사고시 c상 차전류의 고조파



〈그림 15〉 단락사고시 a상 차전류의 고조파 비율

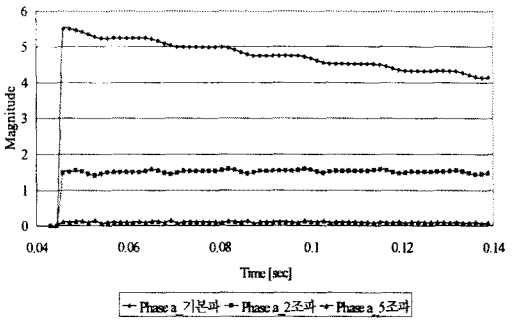


〈그림 16〉 단락사고시 b상 차전류의 고조파 비율

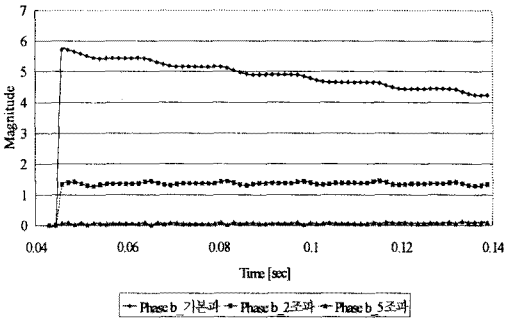


〈그림 17〉 단락사고시 c상 차전류의 고조파 비율

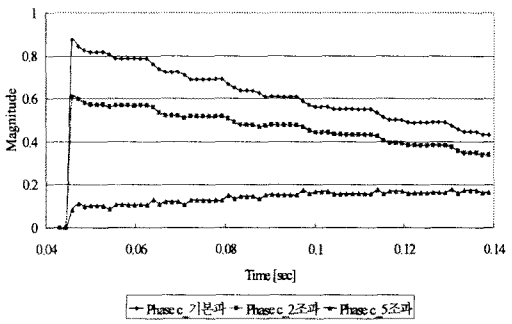
그림 18, 그림 19, 그림 20은 여자돌입의 경우, 차전류의 고조파 분석을 나타낸다. 그림과 같이 가압이 발생되면, 각상별로 기본파성분의 크기는 다소 감소하나, 제2고조파 및 제5고조파성분은, 내부사고의 경우와 다르게, 완전히 사라지지 않고 일정한 정도를 계속 함유하는 것을 알 수 있다. 그림 21, 그림22, 그림 23은 기본파에 대한 제2고조파와 제5고조파의 비를 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 내부 사고시에는 고장발생 후 약 2주기정도가 지난 다음에는 완전히 0으로 감소하였으나, 여자 돌입시에는 이 비율이 다소 상승하는 것을 알 수 있으며, 기본파에 대한 제5고조파의 비도 내부사고의 경우와 다르게 일정한 비율로 유지되는 것을 알 수 있다. 즉, 내부사고인 경우에는, 제2고조파와 제5고조파가 기본파에 비하여 매우 작게 함유되나, 여자 돌입시에는, 일정하게 함유되는 것을 알 수 있다.



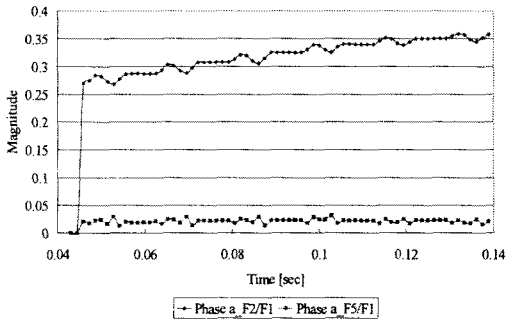
〈그림 18〉 여자돌입시 a상 차전류의 고조파



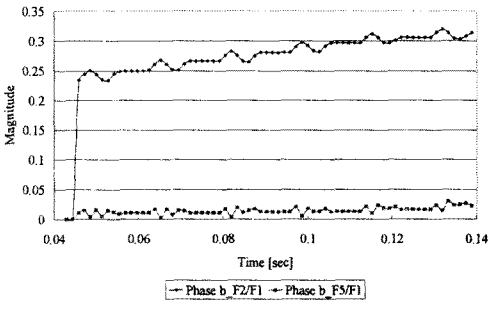
〈그림 19〉 여자돌입시 b상 차전류의 고조파



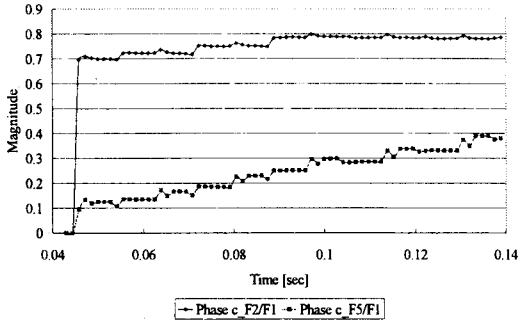
〈그림 20〉 여자돌입시 c상 차전류의 고조파



〈그림 21〉 여자돌입시 a상 차전류의 고조파 비율



〈그림 22〉 여자돌입시 b상 차전류의 고조파 비율



<그림 23> 여자돌입시 c상 차전류의 고조파 비율

3. 결 론

DFT를 이용하여 여자돌입과 내부사고의 경우, 차전류의 고조파성분을 분석하였다.

내부 지락사고가 발생되면, 고장과 관련된 상에는 기본파의 크기는 상승하게 되며, 제2고조파 및 제5고조파 성분은 일시적으로 커졌다가 감소하게 된다. 이때 기본파 성분은 최대 2.5주기 동안 과도상태에 있게 되며, 제2고조파 및 제5고조파성분은 약 1주기 동안의 과도상태가 지속된다.

이를 활용하여 아래와 같이 사고 판별의 규칙 한 가지를 제안하며, 내부고장 판별에 활용할 수 있으리라 본다.

규칙 1 : 제2고조파 및 제5고조파 성분의 일시적 변동이후
- 일정비율 지속 -> 여자돌입 or 과여자
- "0(zero)"에 근접하게 감소-> 내부사고

[참 고 문 헌]

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

[2] 박철원, 서희석, 신명철, "신경회로망을 이용한 변압기의 고장판별시스템에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 46권 6호, pp. 833~839, June, 1997.

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

[4] C.W. Park, M.C. Shin, "Digital Relaying Algorithm for Power Transformer Protection using Fuzzy Logic Approach", KIEE International Transactions on Power Engineering, Vol.2-A, No.4, pp. 153~159, Dec. 2002.

[5] 명지대 차세대전력기술센터(NPTC), "Next-Generation Protection Technology", pp. 1~214 Feb. 2002.

[6] 박철원, "전력용 변압기 보호용 IED를 위한 적응형 알고리즘 기술 개발", 산자부지원, EESRI 전력산업연구개발사업계획서(R-2003-B-069-02) pp. 1~42, May 2003.