論 文
52A-3-5

유기 전압비를 이용한 3권선 변압기 보호계전 알고리즘

A Three-Winding Transformer Protective Relaying Algorithm Based on the Induced Voltages

姜 龍 澈* · 李 炳 銀**
(Yong-Cheol Kang · Byung-Eun Lee)

Abstract - This paper proposes a three-winding transformer protective relaying algorithm based on the ratio of the induced voltages (RIV). The RIV of the two windings is the same as the turn ratio for all operating conditions except an internal fault. For a single phase and a three-phase transformer containing the wye-connected windings, the induced voltages of the windings are estimated. For a three-phase transformer containing the delta-connected windings, the induced voltage differences are estimated using the line currents, because the winding currents are practically unavailable. The algorithm can identify the faulted phase and winding if a fault occurs on one phase of a winding. The test results clearly show that the algorithm successfully discriminates internal winding faults from magnetic inrush. The algorithm not only does not require hysteresis data but also can reduce the operating time of a relay.

Key Words: Ratio of the induced voltages, Magnetic inrush, Faulted winding, Internal winding fault, Turns Ratio

1. NOMENCLATURE

Symbols	정의
v_1, v_2, v_3	전압
i_1, i_2, i_3	전류
R_1, R_2, R_3	권선 저항
L_{l1}, L_{l2}, L_{l3}	누설 인덕턴스
e_1, e_2, e_3	유기 전압
V_1, V_2	정격 전압
Φ_m	상호 자속
N_1, N_2, N_3	권선 수
v_{1A}, v_{1B}, v_{1C}	1차 전압 (3상)
i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}	1차 전류 (3상)
v_{2A}, v_{2B}, v_{2C}	2차 전압 (3상)
i_{2A}, i_{2B}, i_{2C}	2차 전류 (3상)
v_{3AB}, v_{3BC}, v_{3CA}	3차 전압 (3상)
i_{3AB}, i_{3BC}, i_{3CA}	3차 권선 전류 (3상)
i_{3A}, i_{3B}, i_{3C}	3차 선 전류 (3상)
R_{1A}, R_{1B}, R_{1C}	1차 권선 저항 (3상)
L_{l1A}, L_{l1B}, L_{l1C}	1차 누설 인덕턴스(3상)
e_{1A}, e_{1B}, e_{1C}	1차 유기 전압 (3상)
R_{2A}, R_{2B}, R_{2C}	2차 권선 저항 (3상)
L_{l2A}, L_{l2B}, L_{l2C}	2차 누설 인덕턴스(3상)
e_{2A}, e_{2B}, e_{2C}	2차 유기 전압 (3상)
R_{3AB}, R_{3BC}, R_{3CA}	3차 권선 저항 (3상)
L_{l3AB}, L_{l3BC}, L_{l3CA}	3차 누설 인덕턴스 (3상)
e_{3AB}, e_{3BC}, e_{3CA}	3차 유기 전압 (3상)
V_{1AB}, V_{1BC}, V_{1CA}, V_{2AB}, V_{2BC}, V_{2CA}	정격 선간 전압 (3상)

2. 서 론

2권선 변압기뿐만 아니라 3권선 변압기 보호에도 전류차동 방식은 여자돌입 또는 과여자 시에 오동작을 방지하기 위하여 전류, 전압, 자속 등을 억제요소로 사용하고 있다[1]. 전류가 억제요소인 경우에는, 여자 돌입의 경우에는 2조파, 과여자의 경우에는 5조파를 사용한다. 이 방식은 내부사고의 경우의 감도가 둔해진다. 또한, 3권선 변압기의 경우에는 억제요소를 결정하는데 권선 전류의 조합에 따라 여러 방법이 있으며, 참고문헌 [2]에서는 벡터 차를 억제요소로 사용하는 전류차동 계전기를 제안하였다. 하지만, 이 방식은 동작시간이 길며, 재통 및 코어 조건에 영향을 받는다.

따라서, 차동전류에 포함되어 있는 고조파에 영향을 받지 않는 방법이 제안되었다[3, 4]. 그런데, [3]의 방식을 3권선 변압기로 확장하는 경우에는, 델타 권선 전류의 순환 성분을 추정하는 별도의 방법이 필요하다.

참고문헌 [4]의 방식은 유기 전압비가 여자돌입, 과여자 시에는 권선비와 같은 반면에, 내부 사고 시에는 권선비와 같지 않은 원리를 이용하였다. 본 논문은 유기 전압비를 이용하는 3권선 변압기 보호 방식에 대해서 기술한다. 제시한 방식은 사고 권선과 상을 구분할 수 있으며, 제시한 방식의 성능을 여자돌입, 내부사고 등의 경우에 대해서 시험하였다.

* 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部 助敎授 · 工博
** 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部 博士課程
接受日字 : 2002年 11月 28日
最終完了 : 2003年 1月 20日

3. 유기 전압비를 이용한 3권선 변압기 보호 알고리즘

3.1 3권선 단상 변압기

그림 1은 3권선 단상 변압기를 나타낸다. 내부사고가 없다면, 전압은 다음과 같다.

$$v_1 = R_1 i_1 + L_{\ell 1}\frac{di_1}{dt} + e_1 \tag{1}$$

$$v_2 = -R_2 i_2 - L_{\ell 2}\frac{di_2}{dt} + e_2 \tag{2}$$

$$v_3 = -R_3 i_3 - L_{\ell 3}\frac{di_3}{dt} + e_3 \tag{3}$$

e_1, e_2, e_3는 위 식으로부터 계산되고, 두 권선 간의 유기전압비를 다음과 같이 정의한다.

$$RIV12 = \frac{e_1}{e_2},\quad RIV13 = \frac{e_1}{e_3} \tag{4}$$

정상상태에서는 e_1 = 0, e_2 = 0, e_3 = 0 인 경우를 제외하고는 $RIV12$와 $RIV13$는 각각 권선비 N_1/N_2와 N_1/N_3과 같다. 또한, 여자돌입과 과여자의 경우에도, 전압, 전류가 심하게 왜곡되지만, 유기전압비가 권선비와 같다. 한편, 내부사고의 경우에는, 사고 권선에 해당하는 유기 전압비가 권선비가 같지 않다. 따라서, 본 논문에서는 유기 전압비를 모니터링하여 내부사고와 여자돌입을 구분하고자 한다.

하지만, e_1, e_2, e_3가 순시값이므로, e_1 = 0, e_2 = 0, e_3 = 0 인 경우에는 유기 전압비가 권선비가 되지 않는다. 따라서, 식 (4)의 유기 전압비 대신, 식 (5)와 식 (6)의 디텍터를 사용하여, 변압기를 보호 하고자 한다. 디텍터의 값의 의미는 추정한 두 유기 전압의 차이를 백분율로 표현한 것이 된다.

$$Detector12 = \frac{e_1 - \frac{N_1}{N_2}e_2}{\sqrt{2}V_1}\times 100(\%) \tag{5}$$

$$Detector13 = \frac{e_1 - \frac{N_1}{N_3}e_3}{\sqrt{2}V_1}\times 100(\%) \tag{6}$$

식 (5), (6)의 디텍터와 (7)의 디텍터를 이용하게 되면, 그림 2와 표 1의 규칙으로부터 사고 권선 구분이 가능하다. 표 1에서 BIT00는 사고를 판단하는데 사용되고, BIT10, BIT11, BIT12는 사고 권선을 구분하는데 사용된다. 그림 2에서의 Th는 디텍터를 위한 임계값이며, 사례연구에서 설명한다.

$$Detector23 = \frac{e_2 - \frac{N_2}{N_3}e_3}{\sqrt{2}V_2}\times 100(\%) \tag{7}$$

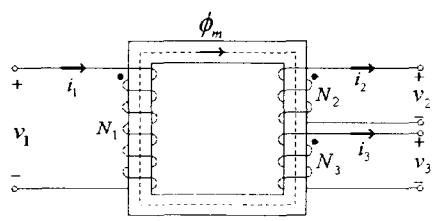


그림 1 3권선 단상 변압기

Fig. 1 A three-winding single-phase transformer

표 1 사고와 사고 권선을 판정하는 규칙

Table 1 A rule for detecting a fault and the faulted winding for a single-phase transformer

BIT00			사고 구분
0			내부사고 아님
1			내부사고
BIT10	BIT11	BIT12	사고권선 구분
1	0	0	1차 권선
0	1	0	2차 권선
0	0	1	3차 권선
1	1	1	두 권선 이상
다른 경우			미 구분

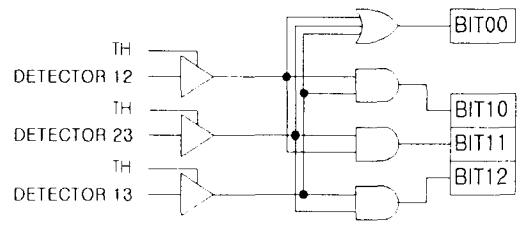


그림 2 사고 판단과 사고 권선을 판단하는 로직

Fig. 2 A logic diagram for detecting a fault and identifying the faulted winding for a single-phase transformer

3.2 3권선 3상 Y-Y-⊿ 변압기

본 논문에서는 Y-Y-⊿ 변압기의 경우에만 기술한다. 그림 3에 3권선 3상 Y-Y-⊿ 변압기를 나타내었다. 각 권선의 전압은 식 (8) ~ (16)으로 나타낸다.

$$v_{1A} = R_{1A}i_{1A} + L_{\ell 1A}\frac{di_{1A}}{dt} + e_{1A} \tag{8}$$

$$v_{1B} = R_{1B}i_{1B} + L_{\ell 1B}\frac{di_{1B}}{dt} + e_{1B} \tag{9}$$

$$v_{1C} = R_{1C}i_{1C} + L_{\ell 1C}\frac{di_{1C}}{dt} + e_{1C} \tag{10}$$

$$v_{2A} = -R_{2A}i_{2A} - L_{\ell 2A}\frac{di_{2A}}{dt} + e_{2A} \tag{11}$$

$$v_{2B} = -R_{2B}i_{2B} - L_{\ell 2B}\frac{di_{2B}}{dt} + e_{2B} \tag{12}$$

$$v_{2C} = -R_{2C}i_{2C} - L_{\ell 2C}\frac{di_{2C}}{dt} + e_{2C} \tag{13}$$

$$v_{3AB} = R_{3AB}i_{3AB} + L_{\ell 3AB}\frac{di_{3AB}}{dt} + e_{3AB} \tag{14}$$

$$v_{3BC} = R_{3BC}i_{3BC} + L_{\ell 3BC}\frac{di_{3BC}}{dt} + e_{3BC} \tag{15}$$

$$v_{3CA} = R_{3CA}i_{3CA} + L_{\ell 3CA}\frac{di_{3CA}}{dt} + e_{3CA} \tag{16}$$

Y 결선에 해당하는 유기 전압 e_{1A}, e_{1B}, e_{1C}, e_{2A}, e_{2B}, e_{2C}는 식 (8) ~ (13)으로부터 직접 계산 가능하다. 반면에, 델타 결선에 해당하는 e_{3AB}, e_{3BC}, e_{3CA}은, 권선 전류인 i_{3AB}, i_{3BC}, i_{3CA}를 측정하기 어렵기 때문에, 식 (14) ~ (16)로부터 직접 계산이 어렵다.

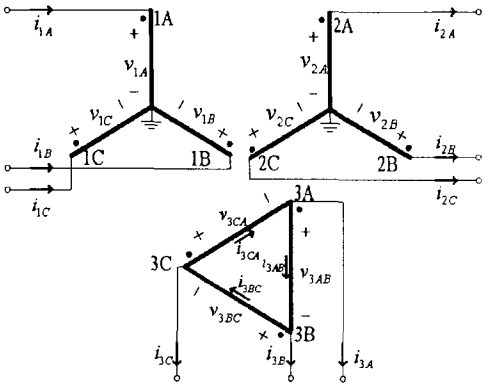


그림 3 3권선 3상 Y-Y-⊿ 변압기

Fig. 3 A three-winding three-phase wye-wye-delta transformer

1차, 2차의 Y-Y 결선간의 디텍터는 식 (8) ~ (13)의 식으로부터, 단상 변압기의 경우와 같이 직접 유도될 수 있다. 1차와 3차의 Y-⊿ 결선간의 디텍터의 경우에는, 선전류와 권선 전류간의 관계식 (17)을 이용한다.

$$i_{3CA}-i_{3AB}=i_{3A},\ i_{3AB}-i_{3BC}=i_{3B},\ i_{3BC}-i_{3CA}=i_{3C} \tag{17}$$

내부사고가 나지 않은 경우에는 식 (18)이 성립한다.

$$R_{3AB}\approx R_{3BC}\approx R_{3CA}=R,\ L_{\ell 3AB}\approx L_{\ell 3BC}\approx L_{\ell 3CA}=L_l \tag{18}$$

식 (16)에서 식 (14)를, 식 (14)에서 식 (15)을, 식 (15)에서 식 (16)을 빼면, 다음 식과 같다.

$$e_{3CA}-e_{3AB}=v_{3CA}-v_{3AB}-Ri_{3A}-L_l\frac{di_{3A}}{dt} \tag{19}$$

$$e_{3AB}-e_{3BC}=v_{3AB}-v_{3BC}-Ri_{3B}-L_l\frac{di_{3B}}{dt} \tag{20}$$

$$e_{3BC}-e_{3CA}=v_{3BC}-v_{3CA}-Ri_{3C}-L_l\frac{di_{3C}}{dt} \tag{21}$$

e_{3AB}, e_{3BC}, e_{3CA}를 계산할 수 없지만, 그들의 차는 식 (19) ~ (21)을 통해서 계산 가능하다. 이와 대응하는 1차 권선에 대한 식은 다음과 같이 유도된다.

$$e_{1C}-e_{1A}$$

$$=v_{1C}-v_{1A}-(R_{1C}i_{1C}-R_{1A}i_{1A})-\left(L_{\ell 1C}\frac{di_{1C}}{dt}-L_{\ell 1A}\frac{di_{1A}}{dt}\right) \tag{22}$$

$$e_{1A}-e_{1B}$$

$$=v_{1A}-v_{1B}-(R_{1A}i_{1A}-R_{1B}i_{1B})-\left(L_{\ell 1A}\frac{di_{1A}}{dt}-L_{\ell 1B}\frac{di_{1B}}{dt}\right) \tag{23}$$

$$e_{1B}-e_{1C}$$

$$=v_{1B}-v_{1C}-(R_{1B}i_{1B}-R_{1C}i_{1C})-\left(L_{\ell 1B}\frac{di_{1B}}{dt}-L_{\ell 1C}\frac{di_{1C}}{dt}\right) \tag{24}$$

Y-Y-⊿ 변압기의 경우에, 1차권선과 2차권선 사이에는 식 (25)이, 1차권선과 3차권선 사이에는 식 (26)이 성립한다.

$$\frac{e_{1A}}{e_{2A}}=\frac{N_1}{N_2},\ \frac{e_{1B}}{e_{2B}}=\frac{N_1}{N_2},\ \frac{e_{1C}}{e_{2C}}=\frac{N_1}{N_2} \tag{25}$$

$$\frac{e_{1A}}{e_{3AB}}=\frac{N_1}{N_3},\ \frac{e_{1B}}{e_{3BC}}=\frac{N_1}{N_3},\ \frac{e_{1C}}{e_{3CA}}=\frac{N_1}{N_3} \tag{26}$$

그런데, e_{3AB}, e_{3BC}, e_{3CA}는 계산이 불가능하기 때문에, 식 (26)은 디텍터에 직접 적용이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 식 (26) 대신에 식 (27)을 사용하였다. 식 (27)은 식 (26)과 필요충분 조건이다. 이의 증명은 참고문헌 [4]에 나와있다.

$$\frac{e_{1C}-e_{1A}}{e_{3CA}-e_{3AB}}=\frac{N_1}{N_3},\ \frac{e_{1A}-e_{1B}}{e_{3AB}-e_{3BC}}=\frac{N_1}{N_3},\ \frac{e_{1B}-e_{1C}}{e_{3BC}-e_{3CA}}=\frac{N_1}{N_3} \tag{27}$$

6개의 디텍터가 다음과 같이 주어진다.

$$Detector1=\frac{e_{1A}-\frac{N_1}{N_2}e_{2A}}{\sqrt{2}\,V_{1A}}\times 100(\%) \tag{28}$$

$$Detector2=\frac{e_{1B}-\frac{N_1}{N_2}e_{2B}}{\sqrt{2}\,V_{1B}}\times 100(\%) \tag{29}$$

$$Detector3=\frac{e_{1C}-\frac{N_1}{N_2}e_{2C}}{\sqrt{2}\,V_{1C}}\times 100(\%) \tag{30}$$

$$Detector4=\frac{(e_{1C}-e_{1A})-\frac{N_1}{N_3}(e_{3CA}-e_{3AB})}{\sqrt{2}\,V_{1CA}}\times 100(\%) \tag{31}$$

$$Detector5=\frac{(e_{1A}-e_{1B})-\frac{N_1}{N_3}(e_{3AB}-e_{3BC})}{\sqrt{2}\,V_{1AB}}\times 100(\%) \tag{32}$$

$$Detector6=\frac{(e_{1B}-e_{1C})-\frac{N_1}{N_3}(e_{3BC}-e_{3CA})}{\sqrt{2}\,V_{1BC}}\times 100(\%) \tag{33}$$

식 (34) ~ (36)의 디텍터를 같이 사용하게 되면, 단상의 경우와 마찬가지로, 사고 권선과 사고 상을 구분할 수 있다.

$$Detector7=\frac{(e_{2C}-e_{2A})-\frac{N_2}{N_3}(e_{3CA}-e_{3AB})}{\sqrt{2}\,V_{2CA}}\times 100(\%) \tag{34}$$

$$Detector8=\frac{(e_{2A}-e_{2B})-\frac{N_2}{N_3}(e_{3AB}-e_{3BC})}{\sqrt{2}\,V_{2AB}}\times 100(\%) \tag{35}$$

$$Detector9=\frac{(e_{2B}-e_{2C})-\frac{N_2}{N_3}(e_{3BC}-e_{3CA})}{\sqrt{2}\,V_{2BC}}\times 100(\%) \tag{36}$$

표 2와 그림 4는 9개의 디텍터로부터 사고를 구분하는 규칙과 사고 권선 및 상을 구분하는 규칙을 나타낸다. BIT00는 사고를 판단하는데 사용되며, 9개의 디텍터 출력의 OR 결합으로 결정된다. BIT10, BIT11, BIT12는 1, 2차 권선의 사고 상을 구분하는데 사용되며, 디텍터 1, 2, 3의 출력으로부터 결정된다. BIT20, BIT21, BIT22는 1, 3차 권선의 사고 상을 구분하는데 사용되며, 디텍터 4, 5, 6의 출력으로부터 결정된다. 따라서, BIT10, BIT11, BIT12, BIT20, BIT21, BIT22만으로도 사고 상 구분이 가능하다. 또한, BIT30, BIT31, BIT32는 디텍터 1, 2, 3의 OR 결합, 디텍터 4, 5, 6의 OR 결합, 디텍터 7, 8, 9의 OR 결합을 두 개씩 AND 결합하여 사고 권선

을 구분하는데 사용된다. 예를 들어, 1차 권선의 A상 사고라면, 디텍터 1, 4, 5, 7, 8이 임계값을 초과한다. BIT00는 1이 되므로 사고가 감지된다. BIT10, BIT11, BIT12는 각각 1, 0, 0이 되고, BIT20, BIT21, BIT22은 1, 1, 0이 되므로, 사고 상은 A상으로 판정된다. 한편, BIT30, BIT31, BIT32은 1, 0, 0이 되므로, 사고 권선이 1차 권선임을 판정한다.

표 2 Y-Y-Δ 변압기의 경우에 사고 판단과 사고 상 및 사고 권선을 구분하기 위한 규칙

Table 2 A rule for detecting a fault and identifying the faulted phase and winding for a Y-Y-Δ transformer

BIT 00			사고 판단
0			사고 아님
1			내부 사고
BIT10	BIT11	BIT12	사고 상 구분
0	0	0	사고 아님
1	0	0	A 상
0	1	0	B 상
0	0	1	C 상
1	1	0	A 상, B 상
0	1	1	B 상, C 상
1	0	1	C 상, A 상
1	1	1	모든 상
BIT20	BIT21	BIT22	사고 상 구분
0	0	0	사고 아님
1	1	0	A 상
0	1	1	B 상
1	0	1	C 상
1	1	1	두 상 또는 세 상
이외의 경우			미 구분
BIT30	BIT31	BIT32	사고 권선 구분
1	0	0	1차 권선
0	1	0	2차 권선
0	0	1	3차 권선
1	1	1	2권선 이상
이외의 경우			미 구분

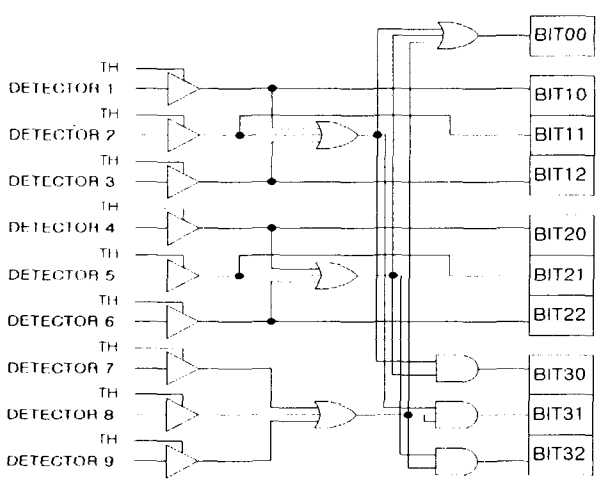


그림 4 사고 판단과 사고 상 및 권선을 판단하는 로직

Fig. 4 A logic diagram for detecting a fault and identifying the faulted winding for a three-winding three-phase transformer

4. 사례연구

그림 5는 모델 계통을 나타낸다. 3상 3권선 Y-Y-Δ 변압기(345kV/154kV/23kV, 500 MVA)를 EMTP를 이용하여 모델링하였다. 참고문헌 [5]의 내부사고 모델링 방법을 사용해서 변압기 내부 사고 데이터를 생성하였다.

샘플링 비율은 주기당 32 샘플을 사용하였으며, 저역 통과 필터로는 저지대역 컷옵 주파수를 960 [Hz]인 Butterworth 2차 필터를 설계하였고, 모든 전압, 전류를 통과시켰다.

변압기 철심의 히스테리시스 특성을 모델링하기 위하여 EMTP내의 type-96 소자를 사용하였고, HYSDAT을 사용하기 위한 포화점은 (100 A, 822 Vs)을 선택하였다.

식 (8)~(13)과 식 (19)~(24)에는 미분항이 존재하며, 이를 근사화해야 한다. 이웃하는 두 점을 근사화하는 방법 중에서 사다리꼴 방식이 Euler 방식에 비해서 오차가 적으나, 수치진동의 가능성이 있다. 본 논문에서는 미분항을 참고문헌 [6]의 식 (37)의 형태로 근사화하였다. 그림 6에 나타난 바와 같이 병렬 저항을 삽입하여 수치진동을 감쇠시킨다.

$$v_L(t)=\frac{1}{\frac{\Delta t}{2L}+\frac{1}{R_P}}\{i(t)-i(t-\Delta t)\}-\frac{R_P-\frac{2L}{\Delta t}}{R_P+\frac{2L}{\Delta t}}v(t-\Delta t) \qquad (37)$$

R_P의 값은 참고문헌 [6]에서 제시한 식 (38)을 사용하였다.

$$R_P=\frac{20}{3}\frac{2L}{\Delta t} \qquad (38)$$

제시한 방식을 여자돌입과 내부사고의 경우에 대해서 시험하였으며, 사례연구에서는 Detector 1 ~ 6만을 나타내었다.

4.1 여자돌입

여자전류의 크기는 투입 위상각, 잔류자속, 부하에 따라 달라지므로, 세 가지 파라미터를 변경하여 다양한 여자돌입의 경우를 모의하였고, Case 1의 경우의 결과를 나타내었다.

1) Case 1: 사고 위상각 0도, 잔류자속 80%, 무부하

그림 7 ~ 그림 9는 Case 1의 결과를 나타낸다. 투입 위상각이 0도이고, 잔류 자속이 80%이기 때문에, 1차 권선에 매우 큰 전류가 흐르게 되고, 이로 인해 각 권선의 전압이 왜곡된다(그림 7). 그림 7의 전류, 전압으로부터 추정한 유기 전압과 유기전압의 차를 그림 8에 나타내었다.

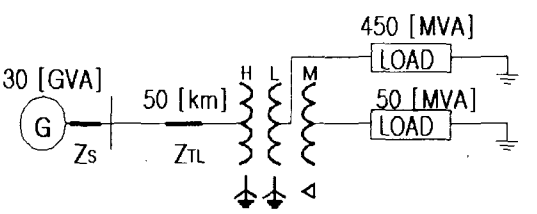


그림 5 모델 시스템

Fig. 5 The model system studied

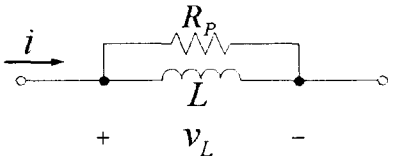
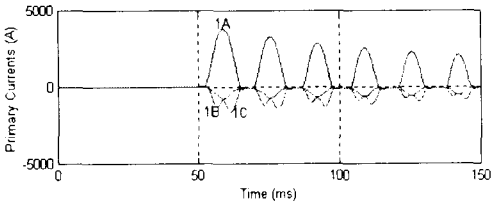


그림 6 병렬 감쇠 저항을 사용한 인덕턴스 모델
Fig. 6 *Inductance model for the parallel damping*

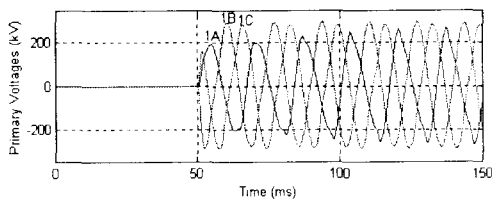
예를 들어, Voltages4는 $e_{1C}-e_{1A}$과 $N_1/N_3(e_{3CA}-e_{3AB})$를 나타낸다. 예상했던 대로, 그들은 정현이 아니고 매우 왜곡됨을 알 수 있다. 하지만, 제시한 방식이 그들을 정확하게 추정하여 두 항이 거의 일치함을 알 수 있다.

디텍터의 임계값은 수치 오차와 계전기의 감도 등에 따라 결정된다. 본 논문에서는 5%를 사용하였고, 과도 신호에 의한 오동작을 방지하기 위하여 카운터를 사용하였다. 만약 디텍터가 5%보다 크면, 카운터를 1 증가시키고, 작으면 1을 감소시킨다. 또한, 카운터가 0보다 작으면 0으로 한다. 카운터가 4를 초과하게 되면 트립신호를 발생시킨다.

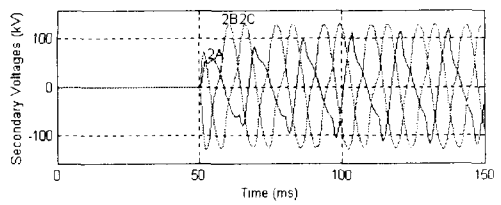
그림 9는 6개의 디텍터와 두 개의 트립 신호를 나타내었다. Trip1 신호는 Detector 1~3의 결과로부터 발생되며, Trip2 신호는 Detector 4~6의 결과로부터 발생된다. 모든 디텍터가 5% 이내이므로, Trip1, Trip2 신호는 발생되지 않았다.



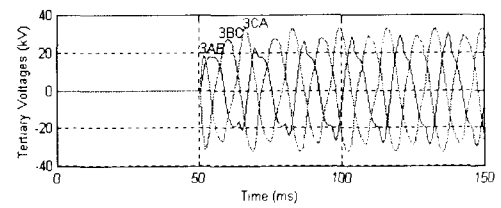
(a) 1차 전류 (i_{1A}, i_{1B}, i_{1C})



(b) 1차 전압 (v_{1A}, v_{1B}, v_{1C})



(c) 2차 전압 (v_{2A}, v_{2B}, v_{2C})



(d) 3차 전압 (v_{3AB}, v_{3BC}, v_{3CA})

그림 7 Case 1의 경우의 3상 전류와 전압
Fig. 7 Three-phase currents and voltages for Case 1

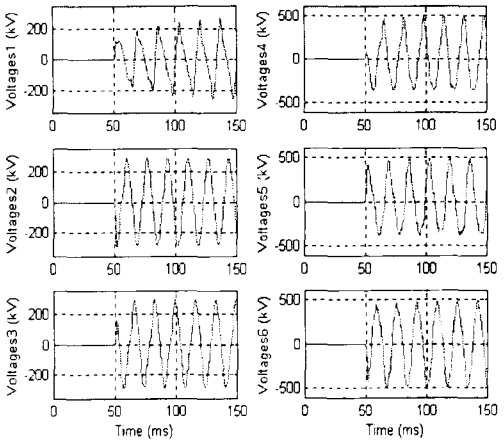


그림 8 추정한 유기 전압 차(Case 1)
Fig. 8 Estimated induced voltage differences for Case 1

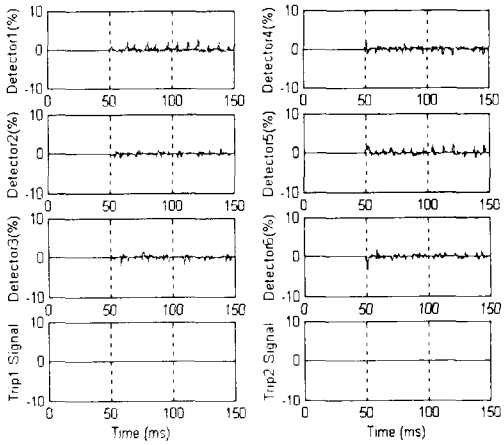


그림 9 디텍터와 트립 신호
Fig. 9 Detectors and the trip signals for Case 1

4.2 내부사고

1차 권선의 A상에 다양한 내부사고를 모의하여 제시한 방식을 시험하였으며, 두 경우의 결과를 나타내었다.

1) Case 2: 중성점으로부터 60% 지점의 지락 사고, 사고 위상각 0도

2) Case 3: 20%와 10% 지점의 단락사고, 사고 위상각 0도

그림 10과 11은 각각 Case 2와 Case 3의 경우의 6개의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 두 경우 모두 1차 권선 A상 사고이므로, Detecctor 1, 4, 5만 임계값을 넘는다. Case 2의 경우에는 사고 발생이후 2.6 ms와 3.1 ms에 Trip1 신호와 Trip2 신호가 발생되었고, Case 3의 경우에는 Trip1 신호와 Trip2 신호가 사고 이후의 4.2 ms and 4.7 ms에 트립 신호가 발생되었다.

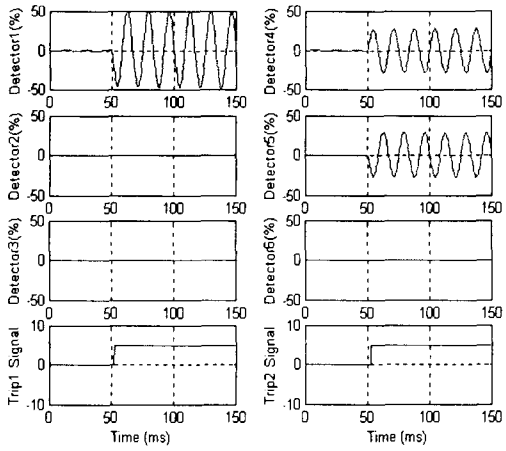


그림 10 디텍터와 트립 신호

Fig. 10 Detectors and the trip signals for Case 2

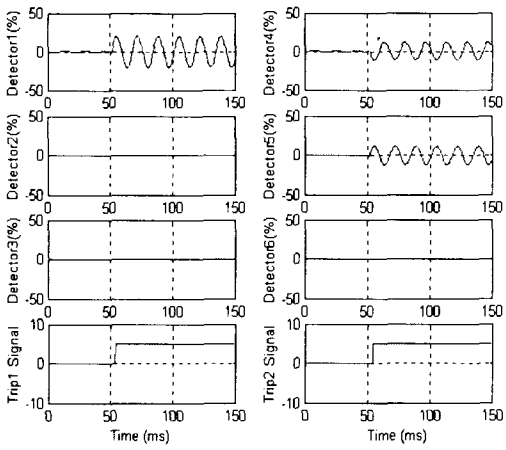


그림 11 디텍터와 트립 신호

Fig. 11 Detectors and the trip signals for Case 3

6. 결 론

본 논문에서는 유기 전압비를 이용한 3권선 변압기 보호 방식을 제안하였다. 제시한 방식은 매우 왜곡된 전압, 전류로부터 유기전압 또는 유기전압의 차를 정확하게 계산하므로, 내부사고를 여자돌입과 구분 가능하다. 게다가, 사고 권선의 구분이 가능하다.

사례연구 결과 제시한 방식이 내부 사고와 여자돌입을 정확하게 구분하였으며, 내부사고의 경우에도 한 주기 이내에 사고를 감지하였다. 제시한 방식은 복잡한 히스테리시스 데이터를 사용하지 않으며, 시간 영역에서 동작하므로 고조파 억제 전류차동계전기 보다 빠른 동작이 가능하다. 또한, 제시한 방식은 외부사고의 경우에도, 유기 전압 비는 성립하므로 내부사고로 판정하지 않는다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] A.G. Phadke, J.S. Thorp, Computer Relaying for Power Systems, Research Studies Press LTD., 1988

[2] B. Al-Fakhri, I. A. Elagtal, A Unique Current Differential Based Algorithm for Protection of Three-Winding Transformers and Busbars, IEEE PES 2001 WM, vol. 2

[3] M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, H.C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detecting Transformer Winding Faults," IEEE Trans. on PWRD, vol.4, no.3, pp. 1638-1648, July 1989

[4] Y. C. Kang, B. E. Lee, S. H. Kang, S. S. Kim, J. K. Lee, "A Transformer Protective Relaying Algorithm Using the Ratio of Induced Voltages," IEEE PES 2001 SM, July 15 ~ 19, 2001, Vancouver, BC, Canada

[5] P. Bastard, P. Bertrand, M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies," IEEE Trans. on PWRD, vol.9, no.2, pp. 690-699, April 1994

[6] Electromagnetic Transients Program Reference Manual, EMTP Theory Book, 1986, Chapter 2

저 자 소 개

강 용 철 (姜 龍 撤)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 조교수. 차세대전력기술연구센터

Tel: 063-270-2391, Fax: 063-270-2394

E-mail : yckang@moak.chonbuk.ac.kr

이 병 은 (李 炳 銀)

1975년 11월 7일생. 1999년 전북대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

E-mail : mpec@netian.com