

전기적 보호장치인 변압기 정지형 비율차동계전기의 오동작 방지에 대한 연구

박양권* **, 어익수*

*호남대학교, **한국전기안전공사
e-mail: deepon@hanmail.net

A Study on the Prevention of Malfunction of a Transformer Solid State Type Ratio Differential Relay, an Electrical Protection Device

Yang-Kwon Park* **, ik-soo Eo*

*Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Honam University

**Korea Electrical Safety Corporation,

요 약

최근, 전력계통의 전력용 변압기의 사고를 최소한으로 억제하고, 확산을 방지하기 위하여 권선의 상간·층간단락, 권선과 철심간의 절연과파에 의한 지락사고, 고·저압 권선의 혼축, 권선의 단선, 기타 부상 리드선의 절연과파 등 내부 고장시 전기적 보호장치인 비율차동계전기가 사용된다. 내부 고장 보호용의 동작 전류의 비율이 억제전류의 일정치 이상일 때 동작을 하며 오동작 사례가 발생하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 특고압용 변압기의 비율차동 정지형계전기로 변압기를 기준 1차와 2차 또는 3차측 계기용 변류기(CT)에 흐르는 전류 위상이 다르고 변압비와 CT의 변류비가 달라 계전기로 유입되는 전류의 크기가 비일치하거나 변압기 탭 절환장치의 변류비 보정, 여자돌입전류로 동작하지 않도록 조치에 대한 오동작 사례와 발생 메커니즘을 분석하고, 비율차동계전기의 오동작 방지 알고리즘을 제안한다. 시험장치 구현을 바탕으로 비율차동계전기의 오동작 특성을 분석한 결과, 제안한 알고리즘에 따라 비율차동계전기를 운용할 경우, 별도의 보상Tap, CT설치 위치 변경 및 배선결선 없이도 오동작을 방지할 수 있어, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

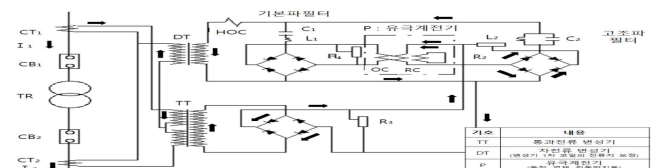
1. 서론

최근, 전력계통의 발전기, 변압기, 송배전선, 모선 등의 대형화, 복잡화하고 있다. 안전한 계통운전을 위해서는 보호계전기를 통해 항상 운전 상태를 감시하고 사고 및 이상상태를 차단기 등에 처리할 수 있도록 하는 보호계전시스템의 역할이 많은 비중을 차지하고 있다 [1]. 또한 전력계통의 고장, 사고, 이상 시 검출하여 신속하게 전력계통으로부터 선택적으로 분리하여 안전과 고장의 확대를 최소화하고 경제적 손실과 사회적 불안감 방지한다. 여기서 한국전기설비규정 351.4 의한 특고압용 변압기의 보호 장치 시설에서 변압기 뱅크용량 10,000[kVA] 이상은 내부 고장시 자동차단장치를 시설한다. 그러나, 규정에 따라 시설하여도 실제 사용 중 오동작, 오부동작의 사례가 빈번히 발생하여 정전사고로 이어져 대책이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 비율차동보호계전기 중 제2고조파 억제형의 오동작 사례와 메커니즘을 분석하고, 오동작 방지 알고리즘을 제안한다. 별도의 배선결선 및 계기용 변류기의 설치 위치, 전류 탭, 비율정정의 변경 없이도 오동작을 방지할 수 있어, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

2. 비율차동계전기 오동작 메커니즘 및 분석

2.1 비율차동 정지형계전기의 특성

트랜지스터를 채용하여 정류형계전기로 기계적 충격과 진동에 효과적으로 대응, 여자돌입전류는 제2고조파에 의해 구속되기 때문에 돌입전류가 유입되어도 계전기는 동작하지 않으며 CT비율 보정을 위한 전류 탭이 수용되며, 2권선, 3권선 변압기에 사용 된다 [2]. 그림 1은 여자돌입전류의 투입시 고조파 억제방식으로 TT는 통과전류변성기, DT는 차동전류변성기로서 변성기(CT) 1차 코일의 TAP에 의해 전류치의 보정을 시행, 제3고조파 이상은 변압기 여자되고 있는 동안 계속적으로 발생하나 제2고조파는 변압기 여자돌입전류가 지속되는 동안 발생했다가 소멸될 때의 전류의 흐름은 나타내는 것이다 [3].



[그림 1] 여자돌입전류의 투입시 고조파 억제방식 전류 흐름

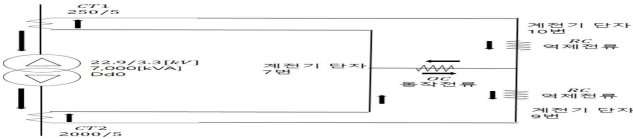
그림 2는 비율차동 정지형 보호계전기의 외부구조로 체크단자, 한시요소(ICS), ICS 전류정정 Tap 정격 DC 0.5/2.0[A], 순시요소(IIT), 계전기 내부회로 차전류에 동작하는 주요소(Ry1), 과전류 동작하는 보조(순시)요소 10, 15와 비율 Tap 20, 40, 70[%], 보상 Tap(전류정정 탭), T₁(변압기 1차 CT), T₂(변압기 2차 CT)으로 2.9, 3.2, 3.5, 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 8.7로 구성된다. 변성기 부분은 2권선용은 단상 릴레이 3개, 3권선용은 4개로 구성된다.



[그림 2] 정지형 비율차동계전기의 외부구조

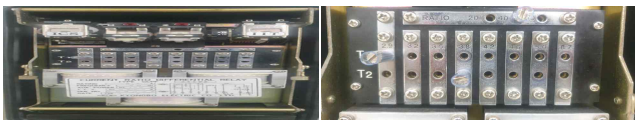
2.2 비율차동계전기의 오동작 메커니즘

변압기 용량 7,000[kVA], 각변위 Dd0, 전압 22.9/3.3[kV], 설치되어 있었으나 보호계전기의 오동작 사례가 발생하여 정전발생 사례하였다. 그림 3의 단선결선도는 변압기 1차 CT의 K단자는 계전기 10번 억제코일, 2차 CT의 K단자는 계전기 9번 억제코일, 1차 및 2차 CT의 L단자는 계전기 7번 동작코일에 결선된다.



[그림 3] 비율차동 정지형계전기의 단선결선도

그림 4는 보호계전기 변경 전 실제 세팅된 사진으로 비율차동 정지형 계전기 S상의 Ry2가 동작하는 채터링 현상, 전자회로 내의 스위치나 계전기 접점이 붙거나 떨어질 때 기계적인 진동에 의해 실제로 매우 짧은 시간 안에 접점이 붙었다가 떨어지는 것을 반복하는 현상이 진행되고 되고 있는 상태였다. 표 1은 실제 설치된 변압기 용량을 기준으로 1차 및 2차측 CT 2차 전류를 설정 및 계산 값을 나타낸다.



[그림 4] 비율차동 정지형계전기의 현장 CT 세팅 변경 전

[표 1] 산업현장 87T CT의 현재 설정 값 및 계산 값[A]

구분	설정 값[A]	계산 값[A]
1차 CT 2차 전류(T ₁)	2.9	3.53
2차 CT 2차 전류(T ₂)	3.8	3.06

표 2는 Tap 변경 전(T₁=2.9[A], T₂=3.8[A]) 비율차동계전기 후면 전류단자에서 전류[A] 및 체크단자 전압[V]측정 값을 전류전압측정기로 측정한 것을 나타낸다. 체크(CH, check)단자는 평상시 9[V]이하(전류 정정 탭의 30[%]인 최소동작 전류가 될 때 18[V])로 유지된다.

[표 2] 산업현장 87T의 현재 변경 전 설정 값 및 계산 값[A]

구분	전류단자에서 측정전류[A]			체크(CH) 단자전압[V]	운전전력 [kW]
	10번	9번	7번		
A	2.1	1.7	0	15.2	약 4,000
B	2.1	1.7	0	14.8	
C	2.1	1.7	0	15.4	

여기서, 부정합률(mismatching)을 검토하면 식 1과 같이 나타낼 수 있으며 부정합률 기준치 5[%]와 확인한 차이를 확인하였다.

$$\text{부정합률} = \frac{\text{이상적인 탭 값} - \text{실제사용탭 값}}{\text{상기 두개 중 적은 값}} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$= \frac{\frac{i_1}{Tap_1} - \frac{i_2}{Tap_2}}{\frac{i_2}{Tap_2}} \times 100[\%] = \frac{\frac{3.53}{3.06} - \frac{2.9}{3.8}}{\frac{2.9}{3.8}} \times 100 = 51.11[\%]$$

여기서, i₁은 1차 CT 2차 전류, i₂은 2차 CT 2차 전류, Tap₁(T₁)은 1차측 전류 탭 설정치, Tap₂(T₂)는 2차측 탭 설정치를 나타낸다. 부정합률에 대한 대책으로 식 2와 같이 현재 설정된 T₂ 값을 그대로 적용하는 T₁=4.6[A], T₂=3.8[A] 설정하였을 때를 나타낸다.

$$T_2 = 3.8[A] \quad (2)$$

$$T_1 = 3.8 \times \frac{3.53}{3.06} = 4.38[A] \text{이므로} \rightarrow \text{Tap을 } 4.6[A] \text{ 설정}$$

$$\text{부정합} = \frac{\frac{i_1}{Tap_1} - \frac{i_2}{Tap_2}}{\frac{i_2}{Tap_2}} \times 100[\%] = \frac{\frac{3.53}{3.06} - \frac{4.6}{3.8}}{\frac{3.8}{3.06}} \times 100 = -4.94[\%]$$

또한 부정합률에 대한 대책으로 계산 값에 의한 식 3-13과 같이 현재 설정된 T₂ 값을 변경하여(CT₂ 전류기준) 적용하는 T₁=3.8[A], T₂=3.2[A] 설정하였을 때를 나타낸다.

$$T_2 = 3.2[A] \quad (3)$$

$$T_1 = 3.2 \times \frac{3.53}{3.06} = 3.69[A] \text{이므로} \rightarrow \text{Tap을 } 3.8[A] \text{ 설정}$$

$$\text{부정합} = \frac{\frac{i_1}{Tap_1} - \frac{i_2}{Tap_2}}{\frac{i_2}{Tap_2}} \times 100[\%] = \frac{\frac{3.53}{3.06} - \frac{3.8}{3.2}}{\frac{3.2}{3.06}} \times 100 = -2.94[\%]$$

식 2와 3 중에서 부정합비가 적은 T₁=3.8, T₂=3.2[A] 선정하는 것이 적절, 그림 5는 보호계전기 변경 후 실제 세팅된 사진을 나타낸다.



[그림 5] 비율차동 정지형계전기의 현장 CT 세팅 변경 후

Tap 변경 후(T₁=3.8[A], T₂=3.2[A]) 비율차동계전기 후면 전류단자에서 전류[A]는 동일하고 체크단자 전압[V]은 A상 1.0[V], B상 0.8[V], C상 0.9[V]전압측정기로 측정되었다.

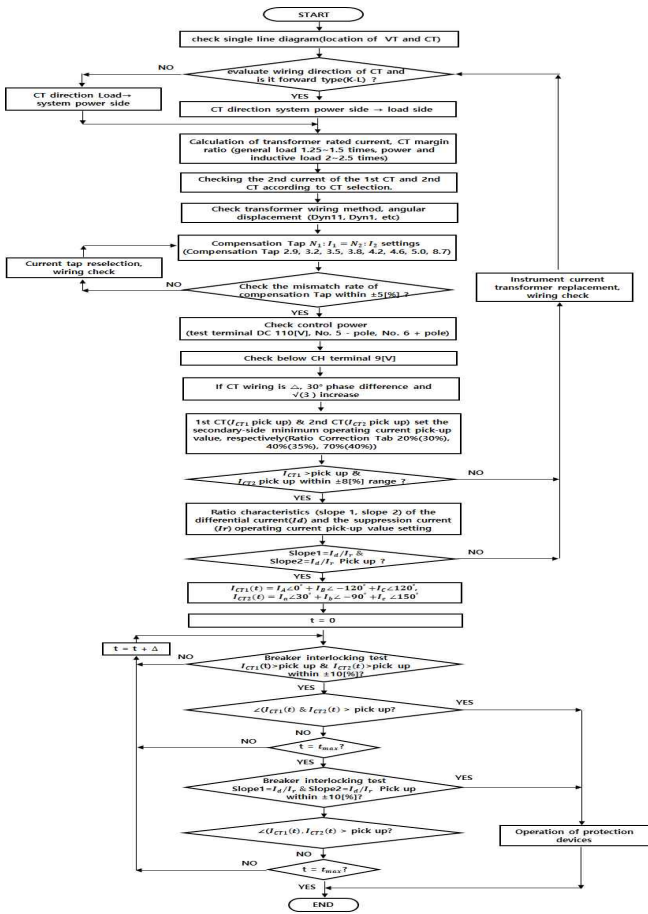
비율차동 정지형계전기 S상의 Ry2인 과전류요소가 동작하는 원인은 억제코일의 전류 탭이 2.9[A]로 사용가능 전력은 식 4와 같다.

$$P = \sqrt{3} \times 22.9[kV] \times 2.9[A] \times \frac{250}{5} = 5,750[kW] \quad (4)$$

최대 부하가 5,750[kW] 이상 사용 시 과전류가 되어 과전류 요소 Ry2가 동작한 것으로 확인 되었다. 참고로 Main 진공차단기 (VCB) 판넬의 과전류계전기(OCR)는 6[A]에 세팅되어 있었다.

3. 오동작 방지 알고리즘

상기의 사고전류 메커니즘에 따라 오동작 방지를 위한 비율차동 정지형계전기의 동작이 적절하게 운용하는 알고리즘을 나타내면 그림 6과 같고 플로차트는 다음과 같다.



[그림 6] 비율차동 정지형계전기의 오동작 방지를 위한 알고리즘

[STEP 1] 전기설비의 비율차동 정지형계전기가 설치된 단선결선도 검토, CT비 및 설치위치, 각변위, 용량을 확인한다.

[STEP 2] CT의 결선방향을 확인한다. 여기서, CT의 결선 방향(K-L)은 계통전원측에서 부하 측으로 향하여 변압기를 기준으로 1차 CT의 정방향(부하 측에서 계통전원측으로 향하는

것을 2차 CT)으로 상정한다.

[STEP 3] 변압기 1차측과 2차측 정격전류를 계산하며 계산 시 여유율(일반부하 1.25~1.5배, 유도 및 동력부하 2.0~2.5배수)를 반영하여 CT비를 선정한다.

[STEP 4] CT비 선정에 따른 1차 CT의 2차 전류와 2차 CT의 2차 전류를 계산하여 확인한다.

[STEP 5] 변압기 명판확인을 통해 변압기 1차와 2차 결선방식, 각변위 확인한다.

[STEP 6] 1차와 2차 전류의 전류보상을 위한 Tap 설정을 위해 $N_1 : I_2 = N_2 : I_1$ 활용하여 보상Tap(전류정정 탭)을 선정한다.

[STEP 7] 보상 Tap은 적정Tap에 설정하여 선정한다.

[STEP 8] 이상적인·실제사용 탭 값을 차이를 계산하고 작은 값으로 나눠 백분율로 환산한 값인 부정합률을 검토키 ±5[%] 범위 이내 선정, 초과 시 보상Tap 재선정 및 결선상태를 확인한다.

[STEP 9] 체크단자(CH) 9[V]이하인지 전압측정기를 통해서 확인한다. 보상 Tap의 30[%]인(최소동작전류)이 될 때 18[V]가 된다.

[STEP 10] 제어전원확인 시험단자(반도체 부동전원공급) 직류 110[V], 계전기 단자 5번은 음극(-), 단자 6번은 양극(+)에 일치여부를 확인한다. 또한 단자 1번과 2번은 알람접점, 3번과 4번은 출력접점, 5번과 6번은 반도체 부동전원, 7번과 10번은 1차 CT 결선, 7번과 9번은 2차 CT결선, 7번 8번은 2차 CT결선에 주의하여 오동작을 사전에 예방한다.

[STEP 11] 변압기 1차와 2차간의 각변위가 차가 있을 경우 계산 값에 의해 2차측에 보상 CT를 설치하고, 2차 CT의 Δ결선시 30° 위상차와 1차 보다 2차가 $\sqrt{3}$ 배 커지는 것을 고려하여 전류 값이 $\sqrt{3}$ 배 보정하는 역할을 한다.

[STEP 12] 1차측 CT와 2차측 CT 각각 최소동작전류는 비율 정정탭이 20[%]인 경우 각 보상Tap의 30[%], 비율정정탭이 40[%](35[%]), 비율정정탭이 70[%](40[%])에 동작하며 허용오차는 ± 8[%]범위 이내에서 pick up 여부를 확인한다.

[STEP 13] 변압기 각변위를 기준으로 비율시험 특성 동작확인을 위한 비율 탭을 기준으로 차전류(I_d)와 억제전류(I_r)의 설정치의 ± 10[%] 범위 이내 동작여부를 확인한다.

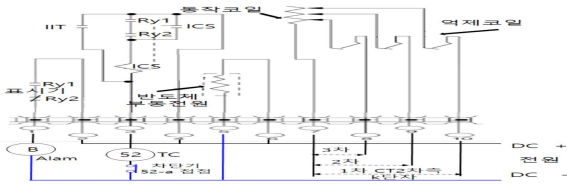
[STEP 14] 차단기와 연동하여 동작시험을 실시하고 동작시간 특성곡선을 참조하여 300[%] 시험시 동작시간 기준 ± 10[%] 범위 이내에서 동작하는지 여부를 확인한다.

[STEP 15] 최소동작전류 및 비율특성에 의한 동작여부를 확인하고, CT 결선에 따른 오동작을 피하기 위하여 1차 CT와 2차 CT 설치방향에 대한 설정기준을 명확히 해야 한다.

4. 비율차동계전기의 시뮬레이터 구현

4.1 비율차동 정지형 보호계전기의 구성

보호계전기 오동작 방지 알고리즘을 바탕으로 그림 7은 비율차동 정지형 계전기 단자대 결선도를 나타내며, Ry1은 OC접점으로 주접점(주요소)이라하며 차전류에 의한 전류(고조파 억제부가 있어 여자돌입전류 동작안함)에 동작한다. Ry2는 보상 Tap 전류의 보조접점(과전류 요소)이라하며 여자돌입전류에 동작한다. Ry1은 Ry2보다 10[ms]정도 늦게 동작하며 검출회로에서 지연되는 시간을 확인한다.



[그림 7] 비율차동 정지형계전기의 단자대 결선도

여기서, 전기설비 현황은 표 3과 같이 변압기 1차측 정격전류는 252.1[A], 2차측 874.8[A]이며 특성시험 조건과 같이 나타낸다.

[표 3] 산업현장 87T의 현재 변경 후 설정 값 및 계산 값[A]

항목	설정구분	설정 값
변압기 (2권선)	1차 / 2차전압[V]	22,900 / 6,600
	1차권선과 2차 권선의 결선	Dyn11
계기용 변류기(CT)	1차 / 2차 권선 CT비[A]	400/5 / 1,500/5
	1차 / 2차 CT의 2차측 전류	3.15 / 5.05

4.2 오동작 방지 알고리즘 적용한 분석 및 결과

오동작 메커니즘을 알아보면 CT의 설치방향은 단선결선도를 통해 K-L로 서로 마주보고 있는 구조이며 변압기 1차(Δ)와 2차(Y)의 위상차를 보정하기 위해 CT의 1차(Y)와 2차(Δ)를 결선, 각변위에 따른 1차와 2차의 위상차 30°와 CT 2차 Δ결선시 $\sqrt{3}$ 배 커짐을 고려, CT 1차측 2차 전류 계산 값에 근접한 보상Tap 3.2(I_1), CT 2차측 2차 전류 계산 값에 근접한 보상Tap 5.0(I_2)을 선정한다. 보상 Tap의 선정이 어느 정도 들어졌는지를 확인하기 위해 식1을 활용하여 부정합률을 검토하여 -2.64[%]로 오차 범위임을 확인하였다. 표 4와 같이 최소동작시험으로 허용오차 범위에서 동작, 비율시험은 표 5와 같이 허용오차 범위에서 동작, 차단기와 연동하여 동작시간특성은 300[%] 시험시 0.6[S]±10[%] 이내 정상동작 하였다.

[표 4] 최소동작시험의 설정 값 및 동작 값[A]

비율정정탭	조건	설정 값	허용오차	동작값
40%	각 보상Tap×35% 동작	1.12	1.04~1.20	1.15
		1.75	1.61~1.89	1.77

[표 5] 비율시험의 설정 값 및 동작 값[A]

비율정정탭	조건	설정값	허용오차	동작값
40%	위상은 1차 CT(K-L)와 2차 CT(L-K) 설치방향 이므로 180° 틀어 시험	21	18.9~23.1	21.2
		15	13.5~16.5	15.0

5. 결론

본 논문에서는 비율차동 정지형보호계전기의 오동작 메커니즘을 분석하기 위하여 시험 장치를 구현하여 특성시험을 수행하였다. 이에 대한 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 전기설비부문의 1차 및 2차 전압, 각변위, CT비, 변압기 1차측 및 2차측 CT 등 설정시, 설치방향 혼동 및 CT결선 등 설치시 오류에 의한 보호계전기의 오동작·오부동작할 수 있는 문제점을 파악하였고, 이를 분석하여 보호협조 운용방안이 개선된 보호계전기 동작 특성곡선을 활용하여 플로 차트와 알고리즘의 메뉴얼화를 통해 오동작·오부동작하지 않도록 사전에 예방할 수 있음을 확인하였다.

(2) 보호계전기의 설정입력에 대한 오류, 시공자, 전기안전관리자, 감리자 등 배선결선 및 계기용변류기의 설치위치 선정 오류 문제점에 의한 오부동작·오동작을 해결 할 수 있도록 알고리즘을 제안하였다. 변압기 내부고장에만 동작할 수 있음을 확인하였고 정전에 대한으로 인한 사회적, 경제적인 피해를 최소화하여 전기안전에 확실한 효과가 있음을 확인하였다.

(3) 알고리즘에 따른 메커니즘을 분석, 이를 바탕으로 시험 장치를 구현하여 보호계전기, 계기용변류기, 전기배선 등 조건에 따라 외부 고장에도 보호계전기가 동작함을 알 수 있다.

따라서, 본 논문은 비율차동 정지형 계전기의 오동작·오부동작을 방지하기 위한 사용자 또는 설계·감리자, 시공자 등 교육의 목적으로 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Korea Electrical Safety Corporation, "Protection relay practice". pp. 4, 2012.
 [2] Kyongbo electric "ratio differential relay with the 2nd harmonic wave restraint", kyongbo electric. pp.366, 2014.
 [3] LS electric Training Center, "Digital protection relay practice V. transformer protection relay", pp. v-4, 2014.