

오차를 고려한 765kV 변압기 보호 계전 정정을 고찰

배영준, 이승재, 최면술, 강상희, 김상태, 최정아, 정창현
 명지대학교 차세대전력기술연구센터

유영식, 조범섭
 한국전력거래소

Investigation into Transformer Protective Relay Setting Rule
 Considering Error Ratio

Y. J. Bea, S. J. Lee, M. S. Choi, S. H. Kang,
 S. T. Kim, J. L. Choi, C. H. Jeong
 Next-Generation Power Technology Center
 in Myonji University

Y. S. Yoo, B. S. Cho
 Korea Power Exchange

Abstract - The digital current differential relaying scheme is widely used for primary protection of 765[kV] power transformer. The current differential relay pickup the internal fault at the threshold which is set at 30% of rating current. Margin of 30% include current transformer error 5%, relay error 5%, on load tap changer error 7% and margin factor 140% obtained from the field experience.

In this paper, transformer protection relay and relay setting rule of high voltage power system are discussed. And we verify the correctness of relay setting rule with current differential relay using Matlab simulation.

1. 서 론

보호계전기 정정지침은 1982년도에 최초로 제정되었고, 1990년도에 개정된 이래로 보호계전기의 정정에 적용되고 있으나 개정 당시 보호계전방식이나 보호설비가 현재와 상이함에도 현재까지 계속 사용되고 있다. 현재 송전전압은 종래의 345kV에서 765kV로 대폭 증가 추세이며, 보호설비 또한 345kV에서 적용하던 보호계전 시스템에 비해 높은 신뢰도가 요구되고 있다. 또한 정보 처리 기술의 발달에 따른 계전기 동작 방식이 전자기계 형에서 디지털형으로 변천하였다. 그러나 이런 전력계통의 발전에도 불구하고 정정기준은 전력사 자체적으로 필요 시 개정·적용하고 있다. 하지만 명확한 정정지침의 근거나 이론 및 연구가 뒷받침되지 못하고 있다. 이에 따라 보호계전 정정기준에 관련하여 종합적이고 합리적인 기준 및 근거를 수립, 제시 해야할 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 초고압 설비의 보호계전기 정정지침 중 변압기에 적용되는 정정지침의 타당성에 대해 고찰해 보았다. 변압기의 주보호에는 전류평형(61), 비율차동(87)계전기를 주로 사용한다. 이 계전기의 최소동작전류는 기준전류 값에 대해 30% 오차를 고려하여 적용되고 있으며, 공통적인 오차로는 CT의 오차 5%, 계전기의 오차 5%, 그리고 Impedance 계산 오차 10%나 OLTC(On Load Tap Changer) 7% 오차이며, 이들 값에 대한 여유로 120%~200%를 고려한 값이다. 하지만 이 오차율은 이제까지의 보호계전 정정지침에서 얻은 경험적인 값이 대부분이다. 본 논문에서는 변압기의 보호계전요소 및 정정지침에 대해 알아보고, 변압기 보호계전요소 중 대표적인 전류차동계전기(87M)의 기본적인 동작을 알아본 뒤 정정지침상 적용오차의 타당성을 시뮬레이션을 통하여 검증하여 보았다.

2. 본 론

2.1 변압기 보호계전 방식

2.1.1 변압기 주보호 방식

765kV 변압기는 대용량이고 %임피던스가 커서 고장 검출감도가 저하되기 때문에 검출 감도가 높은 계전기를 사용하여야 한다. 또한 사고 전류중의 저차, 고차 고조 파분 전류에도 동작신뢰도를 갖도록 고려되어야 한다.

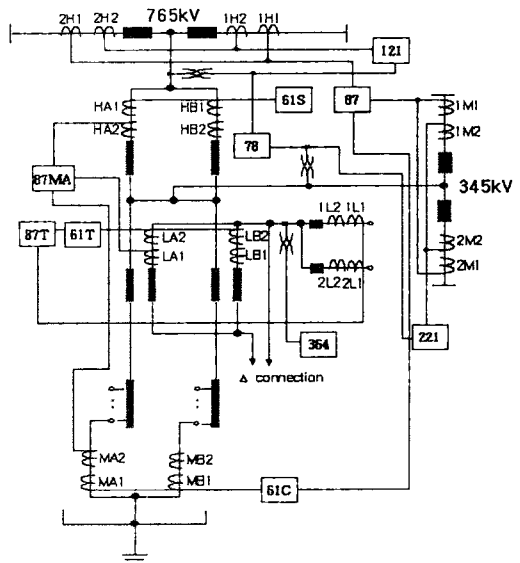


그림 1. 변압기 보호 계전기 결선도

그림 1은 765kV 변압기의 보호 계전기의 결선이다. 765kV 변압기의 경우 용량이 200만kW로 345kV나 이전의 변압용량에 비해 매우 크기 때문에 두 개의 변압기를 병렬로 연결하여 1 ϕ 으로 사용한다. 덧붙여 말하면 765kV의 경우 변압기 한 대를 Tank라 하며, 이 탭크 2대가 1 ϕ 상을 이루며 Tank 2대씩 3 묶음하여 3 ϕ 을 공급하고 이를 Bank라 한다. 그림 1에서처럼 변압기보호는 크게 주보호와 후비보호로 나뉘며 주보호는 다시 Tank와 Bank 보호로 구분된다. 주보호 중 Tank 보호용으로는 비율차동계전기(87M, 87T, 87)를 사용하며, Bank 보호용으로는 전류평형계전기(61)를 사용한다. Tank 보호용 87M계전기는 1-Tank 운전시 각 권선(1차, 2차, 3차)의 중간·단락 사고 검출을 목적으로 적용된다. 그리고 87계전기는 765kV측과 345kV측 구출단의 단락·지락검출 및 1차·2차권선의 지락검출

용으로, 87T계전기는 3차권선 및 3차회로 구출부의 단락사고를 검출한다. Bank 보호용 전류평형계전기(61)은 Bank 간 1차권선(61S), 2차권선(61C), 3차권선(61T)의 각 권선간 사고 검출에 적용된다.[1]

2.1.2 변압기 후비보호 방식

765kV 변압기의 후비보호 방식으로는 변압기 1차측(H)과 2차측(M)의 보호로 단락거리계전기(121S, 221S)가 사용되며, 거리계전기 성능은 선로 후비보호용 거리계전기의 경우와 동일하고, 동작 방향은 변압기 내부 방향이다. 변압기 중성선측에는 지락 과전류계전기(121G, 221G)를 두어 외부지락사고의 후비보호기능을 발휘하도록 하였다. 3차측(L) 후비보호는 단락보호에 한시과전류계전기(351), 지락보호에 영상전압으로 동작하는 한시 지락과전압계전기(364V)를 사용한다. 변압기 탱크내 사고검출을 위하여 Sudden Pressure Relay를 부착시켰다.[1]

2.2 변압기 주보호 계전기의 동작원리

765kV 변압기 주보호에 적용되는 계전기는 앞 설명처럼 전류평형계전기와 전류차동계전기로 나뉜다. 전류평형계전기의 동작원리는 입력전류의 벡터차 값에 벡터합 값을 나눈 비율로서 동작하며, 전류차동계전기의 동작은 입력전류에 대한 벡터합을 입력 전류 중 가장 큰 값에 대한 비율로서 동작하는 특성을 갖고 있다. 본 문에서는 주보호 계전요소 중 전류차동계전기(87M)의 동작 특성에 대해 알아보았다.

전류차동계전기(87M)의 입력 전류는 아래와 같다. (그림 1 참조)

87MA : HA2 (1차 권선 전류)
MA2 (2차 권선 전류)
LA1 (3차 권선 전류)

87MB : HB2 (1차 권선 전류)
MB2 (2차 권선 전류)
LB1 (3차 권선 전류)

이 계전기 입력은 1차 권선 전류, 2차 권선 전류, 3차 권선 전류(Y-접속 base)를 사용한다. 이 입력전류의 정격은 다음과 같다. 이 입력값에 대한 동작특성의 연산식은 다음과 같다.

$$HOC : I_d > 87MA(HOC)$$

※ HOC : 최대 여자 inrush 전류 이상치, 일반적인 권장 값으로는
2.0 × 최대 inrush 전류(rms 값)

DF : DF요소는 2가지 기능으로 이루어짐

i) 차동기능 : $I_d > 87MA(DF)$

ii) 비율차동기능 : $I_d > 87MA(RAT1) \times I_r$

※ DF : 87M 계전기 비율특성

$$I_d = |HA2 + MA2 + LA1| \dots \text{그림 1참조 (1)}$$

$$I_r = \max[HA2, MA2, LA1] \dots \text{(2)}$$

RAT : tap changer를 고려한 후 최대 외부사고 전류에서의 miss-match 전류비율 이상으로 함. 권장치는 30~40%

이 식에 의해 결정되는 계전기의 동작 특성은 다음(그

림 2)과 같다.[2]

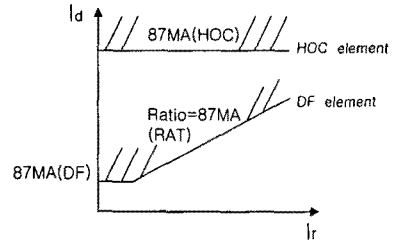


그림 2. 87MA의 비율특성곡선

2.3 변압기 주보호 계전기 정정지침

정정에 적용되는 오차는 크게 CT, Relay, Imp 계산, OLTC 오차로 나뉜다. CT 경우 변류에 따른 1차측과 2차측의 유기 전류 차이와 이때 선정되는 Tap 오차 등을 포함한 오차로 5%를, Relay 경우 입력값에 대한 A/D 변환 및 계산 등을 고려한 오차로 5%를 책정하였으며, 이는 전력공급자의 기기 구매사양에 대한 최대 오차 범위에 해당된다. 또한 실제 변압기의 Imp와 보호계전에 입력된 Imp의 오차 또는 OLTC(On Load Tap Changer)의 tap 변환에 따른 변압기 2차측 전류의 변동에 따른 오차 7% 등을 포함한 값이다.

표 1. 765kV 변압기 전류차동계전기 정정지침[3]

용도	기구번호	동작치정정	비고
Tank 단 위 내 부 단 ·지락 보호	87MA	1. 최소동작전류 - 기준전류의 30%	1. 최소동작전류 가. 오차:30%(여유140%)
	87MB	2. 비율특성 : 40% 3. 2고조파 동작역제 - 여자들입전류의 2고조파성분의 값이 50% 이상 4. HOC 요소 - 최대 여자들입전류의 200% 이상	① CT오차:2 × 5% ② Relay오차:5% ③ OLTC:7% 나. 비율특성:40% ① CT오차:2 × 5% ② Relay오차:5% ③ Tank간 Imp오차:10% ④ 여유 200% 고려
Bank 단 위 단 ·지락 보호	87	1. 최소동작전류 - 765kV측 CT2차장전류의 30% 이하	1. 최소동작전류 가. 오차:30%(여유120%)
		2. 비율특성 - 저전류영역:40% - 대전류영역 Id)Ir-87(RAT2)	① CT오차:2(6) × 5% ② Relay오차:5% ③ OLTC오차:7% 나. 비율특성 ① 저전류영역(40%) - CT,Relay, OLTC 오차 × 200% = 44% ② 대전류영역 - Id)Ir-87(RAT2)
Bank 단 위 3차권선 단 락 보호	87TA	1. 최소동작전류 - 3차권선 CT 정격 전류의 30%이하	1. 최소동작전류 가. 오차:30%(여유140%)
	87TB	2. 비율특성 - 저전류영역:40% (RAT1) - 대전류영역(RAT2) Id)Ir-87(RAT2)	① CT오차:2(5) × 5% ② Relay오차:5% ③ OLTC오차:7% 나. 비율특성 ① 저전류영역(40%) - CT,Relay, OLTC 오차 × 200% = 44%
	87TC	※ 그림 1참조 Id = HA1+HB1+1L1 +2L1-HC1-HC1 Ir = MAX HA1, HB1, 1L1, 2L1, -HC1, -HC1	② 대전류영역 - Id)Ir-87(RAT2)

표 1은 765kV의 변압기 전류차동방식 계전요소의 정정지침이다. 표 1에서처럼 정정지침은 실제값과 계전기

에 입력되는 값에 대한 오차를 산정하여 계전기의 동작 요소의 범위를 정한 것이다. 국내에서 사용하고 있는 정정 지침은 표 1처럼 각 오차를 산정하고 이에 여유를 고려한 경험적인 값을 책정한 것이 대부분이다. 지금까지의 각 계전기 동작 특성에 적용되는 오차 산정의 정정 지침은 다음 식과 같은 각 오차를 단순합산방식에 의해 계산한 값이다.

$$\text{정정상 오차}[\%] = [CT_{error} + Relay_{error} + (Imp \text{ or } OLTC)_{error}] \times \text{여유} \quad (3)$$

2.4 정정률 오차 분석

2.4.1 정정률 오차 분석

현재 국내에서 적용되고 있는 정정지침의 오차 계산은 식 (3)과 같다. 본 논문에서는 변압기 보호 계전 요소 중 전류차동계전기(87M)를 예를 들어 계전기 동작치에 고려되는 오차범위를 분석, 현재 적용되는 정정지침상의 오차 범위와 비교해 보았다. 오차식 산정은 정격전류에 대해 CT 및 OLTC 오차를 고려한 후 이 값에 대해 계전기의 입력변환 및 계산과정 오차를 적용한 총 오차식을 유도하면, 다음과 같다.

$$I_{error} = \frac{I_d(error)}{I_A(error)} = \frac{|HA2_{error} - MA2_{error} - LA1_{error}|}{\max(HA2_{error}, MA2_{error}, LA1_{error})} [\%] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} * HA2_{error} &= HA2 \times (1 \pm 5\%)_{CT} \times (1 \pm 7\%)_{OLTC} \\ MA2_{error} &= MA2 \times (1 \pm 5\%)_{CT} \\ LA1_{error} &= LA1 \times (1 \pm 5\%)_{CT} \times (1 \pm 7\%)_{OLTC} \end{aligned}$$

I_{error} 은 변압기 정격용량과 정격전압에 의해 계산되는 정격전류값과 이 정격전류가 계전기에 입력되기 전에 생기는 오차 CT 및 OLTC 오차를 고려하여 계산한 값이다. 765kV의 전류차동계전기(87M)의 정격전류는 Primary측 $HA2=754.6[A]$, Secondary측 $MA2=918.9[A]$, Tertiary측 $LA1=434.8[A]$ 이며, 이 값을 입력받는 CT의 변류비는 모두 2000:1이고, 정상 시 CT 2차측 값은 $HA2=0.654[A]$, $MA2=0.796$, $LA1=0.377[A]$ 이다.

전체 오차 $Total_{error}$ 는 식 (4)의 I_{error} 에 Relay 경우 입력에 대한 A/D 변환 및 계산 등을 고려한 오차로 $Relay_{error}$ 를 고려한 것이며, 다음 식으로 표현 할 수 있다.

$$Total_{error} [\%] = [1 - (1 \pm I_{error}) \times (1 \pm Reay_{error})] \times 100 \quad (5)$$

여기서 $Total_{error}$ 는 전체 오차이며 정격전류에 대해 계전기의 동작에 영향을 미치는 오차를 모두 고려한 값이다.

시뮬레이션 방법은 Matlab의 랜덤함수를 이용하여 백만개의 오차 값을 산정, 산정된 오차 값을 식 (3), (5)에 적용하여 그 결과를 오차분포곡선으로 나타내었다.

2.4.2 정정률 오차 Simulation 결과

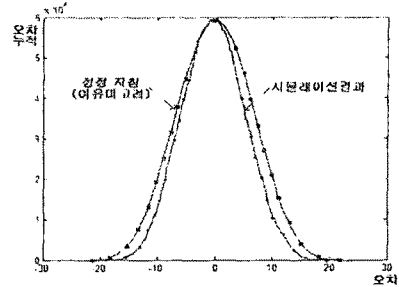


그림 3 오차분포곡선 (여유 미고려)

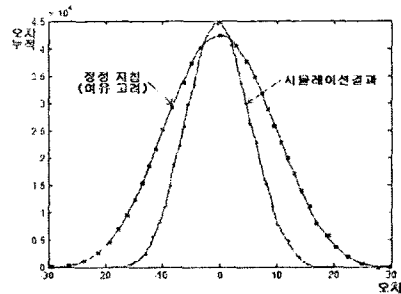


그림 4. 오차분포곡선 (여유 고려)

그림 3은 식 (3)에서 여유를 고려하지 않은 결과 곡선과 식 (5)의 결과 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 식 (3)의 오차 분포는 $\pm 22\%$ 이며, 식 (5)의 오차 분포는 $+18.8\%$, -18.5% 로 나타났다. 이는 식 (3)에서 고려한 단순합산 오차고려방법의 결과와 식 (5)의 결과가 3% 정도 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그림 4는 식 (3)에 정정지침과 같이 여유 140%를 고려한 결과와 식 (5)의 결과 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 식 (3)의 오차 분포는 $\pm 30\%$ 이며, 식 (5)의 결과와는 11% 정도 차이가 남을 확인 할 수 있다.

시뮬레이션 결과 실제 발생하는 오차는 현재 국내의 정정지침 상 각 오차를 합산한 오차에 여유를 고려하지 않은 값과 비슷한 범위 내에 나타남을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 765kV 변압기의 보호방식 및 정정지침에 대해 간단히 알아보았고, 새로운 오차 고려방법을 제시하여 현재 국내에서 적용하고 있는 정정지침상 각 오차에 대한 단순합산방식의 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증해 보았다.

(감사의 글)

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술재단의 ERC 프로그램과 한국전력거래소의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

(참고 문헌)

- [1] 한국전력공사, 기술연구원, 신대승 외 6명, "765kV 초고압 보호계전방식에 관한 연구", 최종보고서, 173-176, 1994.12
- [2] 유호전력공업주식회사, "INSTRUCTION MANUAL", 4-1~108
- [3] 한국전력거래소, "765kV 보호계전 정정지침(안)", 지침서, 12-22, 2001