

과전류계전기의 직류오프셋 특성

박철원*, 김준영*, 반우현*
강릉원주대학교*

DC-offset Characteristic of Overcurrent Relay

Chul-Won Park*, Joon-Yeong Kim*, Woo-Hyeon Ban*
Gangneung-Wonju National University*

Abstract - 과전류계전기 등의 보호설비는 사고에 따라 고장전류가 발생하였을 때, 이를 감지하여 트립신호를 차단기로 보내서 동작하게 함으로서 사고를 제거하고, 고장파급을 방지하며 신속한 사고 복구를 통해 전력시스템을 보호한다.

본 논문에서는 IEEE Standards 을 기준으로 과전류계전기의 여러 가지 특성과 국내 과전류계전기 모델들의 TC 특성 비교하였다. 특히 과전류계전기의 직류오프셋성분에 의한 영향을 검토하였다. 이는 ATP에 의한 154[kV] 1회선 송전선로 모델링을 통하여 얻어진 데이터를 이용한 시뮬레이션으로 평가하였다.

1. 서 론

전력계통 보호방식은 송전선로, 변압기, 모선 및 발전기 등 적용 대상에 따라 여러 가지로 분류되는데 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 발전되어 왔다. 현대화 및 도시화가 진행됨에 따라 고품질의 안정적인 전력공급에 대한 요구사항은 점차 증가되고 있고, 이러한 추세에 부응하기 위하여 오늘날의 전력계통 구성은 보호제어 시스템의 다기능화, 고신뢰화 및 무보수화를 전제로 설계되고 있는 실정이다[1]. 따라서 계통 전체를 안정적으로 운영하기 위한 효과적이고 경제적인 수단으로 전력 시스템, 특히 배전계통내에서는 과전류계전기 또는 한류기가 주로 이용되고 있다[2].

근래에는 변전소 뿐만 아니라 수변전설비에도 전파화 배전반 및 디지털 계전기에 의한 감시제어시스템이 도입되고 있다. 근래 과전류계전기의 기능화 성능개선을 위하여 PIC이나 DSP를 이용한 하드웨어로 구현되었다[1,2]. 최근에는 초전도 케이블의 보호협조[3], 초전도 전류제한기의 저항을 선정할 때 과전류계전기에 대한 협조[4], 마이크로그리드의 한류기 투입에 따른 적용형 과전류계전방식 등이 연구되었다[5]. 또한 풍력발전단지 등 분산전원 연계선로의 과전류에 대한 해석 등이 관심을 끌고 있다[6,7].

본 논문에서는 디지털 과전류계전기의 직류 오프셋 특성에 대하여 연구하였다. IEEE Standard 반한시 특성 방정식에 대하여 살펴본 후, 리셋 특성과 보호특성으로 구성되는 디지털 과전류계전 알고리즘을 제시하였다. 국내 과전류계전기 모델들의 TC 특성을 비교하였다. ATP 시뮬레이션 데이터를 활용하여 알고리즘을 평가하였고, 그 결과로 직류 오프셋 성분이 과전류계전기의 동작시간에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한 계통의 안정도 향상과 보호계전기의 고속도 동작을 위해 직류 오프셋 성분을 정확히 해석하고 제거할 수 있는 고성능의 필터가 필요하다고 판단된다.

2. 과전류계전기의 직류오프셋 특성

2.1 DC-offset 제거필터

기본과 성분에 기초한 계전기법은 사고시 계전신호에 포함된 DC-offset 및 고조파 성분을 제거해야 한다. 사고시 지수함수 형태로 감소하는 DC-offset 성분과 고조파 성분을 필터링하여 IED의 계전알고리즘 정확도를 향상시키고 동작시간을 단축시키게 된다.

여러 가지 DC-offset 제거필터 중에서, 본 논문에서는 DC-offset 성분을 지수 함수 그대로 이용한 필터가 적용되었고, 이는 식(1)과 같이 표현할 수 있다[8].

$$b_n = a_n - (a_n + a_{n-(N/2)}) / 1 + \exp(N\Delta t / 2\tau) \quad (1)$$

여기서, N : 주기당 샘플수, Δt : 샘플링 간격, τ : 시정수
 a_n : n 번째 전류신호, b_n : 필터후의 n 번째 전류신호.

2.2 과전류계전기의 보호 알고리즘

과전류계전기의 보호방식은 가장 기본적인이고 간단하며, 주보호로는

비교적 저압의 방사성 송배전선이나 변전소의 소내회로 보호에 한하며 일반적으로는 후비보호로서 사용된다. 최대부하전류보다 크고 최소 고장전류보다 작은 값을 픽업전류로 설정하고, 그 이상의 전류가 흐르면 사고로 판단하여 다른 보호계전기와 보호협조를 이루어 동작한다. 식(2)는 과전류계전기의 리셋 특성 방정식을 나타내며, 식(3)은 트립 특성 방정식을 나타낸다. 본 연구에서는 리셋 특성은 제외하였다[9,10].

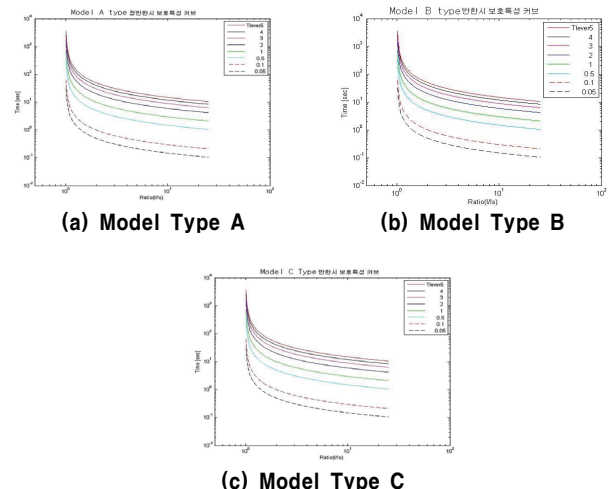
$$t_r(I) = TD \left(\frac{A}{M^p - 1} \right), \quad 0 < M < 1 \quad (2)$$

$$t_t(I) = TD \left(\frac{A}{M^p - 1} + B \right), \quad M > 1 \quad (3)$$

여기서: M : pickup 전류의 배수, TD : time dial 설정값,
 A, B, p : 특성 곡선을 에뮬레이트 하는 상수.

2.3 Model Type별 특성

그림 1은 국내 과전류계전기 모델들의 TC곡선을 비교한 것이고, 각각의 모델별로 정정치를 비교해서 표 1에 정리하였다. 여기에서 Type A는 KEPCO의 과전류 표준규격이고, Type B는 IEEE의 표준 규격과 국내 A사의 정정치이며, Type C는 KEPCO의 과전류 표준규격과 IEC 표준규격을 혼용한 정정치를 나타낸 것이다[11~14].



(c) Model Type C

<그림 1 제작사별 과전류계전기의 반한시 특성곡선>

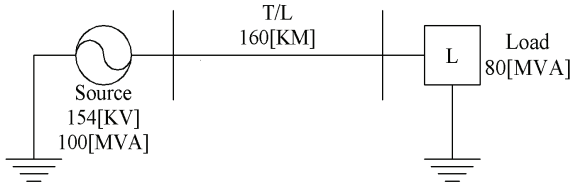
<표 1> 제작사별 과전류계전기 정정치

		Type A	Type B	Type C
반 한 시	P	0.02	0.02	0.02
	A	0.11	0.0515	0.14
	B	0.42	0.114	0
강반한시	P	1.95	2	1
	A	39.85	19.61	13.5
	B	1.084	0.491	0
초반한시	P		2	2
	A		28.2	80
	B		0.1217	0
장반한시	P			1
	A			120
	B			0

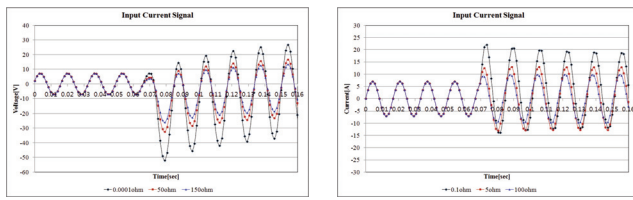
3. 사례 연구

3.1 ATP를 이용한 154[kV] 송전선로 계통 모델링

그림 2와 같이, ATP를 이용하여 전원이 154[kV]이고 공장이 160[km]인 1회선 송전선로 모델링을 구성한 후, 1선(A상) 지락사고 데이터를 수집하였다. 직류 옵셋의 영향을 분석하기 위해서 80[km]지점에서 전압 위상각을 각각 0°와 90°일 경우로 설정하였다. 이때, 고장저항은 0.0001[Ω], 50[Ω], 150[Ω]로 가변시켰으며, 4주기(0.066667[sec])시점에서 고장이 발생한 경우로 한정하였다. 그림 3은 전압사고각이 각각 0°와 90°일 때의 A상 순시치 전류신호를 나타낸다[15].



〈그림 2 모델 전력계통〉



(a) 전압사고각 0°

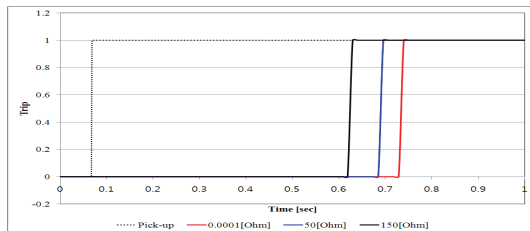
(b) 전압사고각 90°

〈그림 3 A상 전류신호〉

3.2 테스트 결과

3.2.1 전압사고각이 0°인 경우

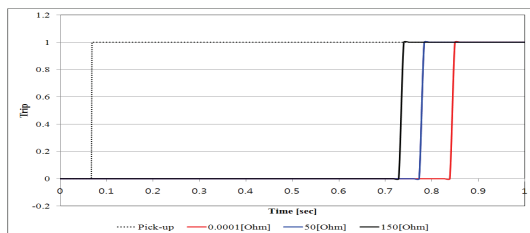
본 연구에서의 CT 비는 300:5로 채택하였고 pickup 전류값은 정상상태 실험치 전류의 8.3%로 설정하였다. 그림 4는 전압사고각이 0°일 때 고장저항에 따른 TC 특성 테스트 결과이다. 고장저항이 0.0001[Ω]일 때 pickup이 이루어진 시각은 68[ms]이며, 계전기 트립이 발생한 시각은 848[ms]이다. 고장저항이 50[Ω]일 때 pickup이 이루어진 시각은 68[ms]이며, 트립이 발생한 시각은 785[ms]이었다. 고장저항이 150[Ω]일 때 pickup이 이루어진 시각은 68[ms], 트립이 발생한 시각은 744[ms]를 나타내었다.



〈그림 4 TC 특성 테스트 결과〉

3.2.2 전압사고각이 90°인 경우

그림 5는 전압사고각이 90°일 때 고장저항에 따른 TC 특성 테스트 결과이다. 고장저항이 0.0001[Ω]일 때 pickup이 이루어진 시각은 68[ms]이며, 계전기 트립이 발생한 시각은 741[ms]이다. 고장저항이 50[Ω]일 때 pickup이 이루어진 시각은 68[ms], 트립이 발생한 시각은 698[ms]이다. 고장저항이 150[Ω]일 때 pickup이 이루어진 시각은 68[ms], 트립이 발생한 시각은 625[ms]를 나타내었다.



〈그림 5 TC 특성 테스트 결과〉

4. 결 론

본 논문에서는 IEEE Standard 반한시 특성 방정식을 고려하여 디지털 과전류계전 알고리즘을 구현하였다. Pickup 전류는 실험치 전류의 8.3%로 설정하였고, ATP 154[kV] 모델링 데이터를 활용하여 과전류계전기의 직류 옵셋 특성을 분석하였다. 결과적으로 전압사고각이 0°일 때 직류 옵셋 성분이 현저해지기 때문에 과전류계전기의 트립 동작 시간이 전압사고각이 90°일 때보다 늦어지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유로 계전기의 오동작이나 무동작을 유발할 수 있고, 더 나아가 계통의 다른 보호계전기와의 협조실패로 이어질 수 있다. 따라서 과도 전류신호로부터 직류 옵셋 성분을 충분히 제거할 수 있는 고성능의 직류 옵셋 제거 필터의 적용이 필수적이라고 볼 수 있다. 또한 고장저항이 증가할수록 사고전류가 감소하기 때문에 고장상태전류가 정상상태전류와의 판별이 더욱 불가능하게 됨을 알 수 있었다. 발전기 고정자의 지락사고의 경우, 정상전류와 고장전류가 큰 차이를 보이지 않게 되기 때문에 과전류계전기 대신에 전압역제부 과전류계전기(51V)를 사용해야한다는 것도 추론할 수 있었다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 박찬원, 전찬민, 전삼석, 김동주, 김정범, “과전류보호계전기의 지능화 성능개선에 관한 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2319~2321, 2003.
- [2] 유성록, 윤병욱, 박병우, 최창영, 강상희, “TMS320C32를 이용한 한시 과전류 계전기의 구현”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2194~2195, 2009.
- [3] 이현철, 류경우, 황시돌, 손승호, 임지현, 이근준, “배전급 초전도 케이블의 상전도계통 적용시 보호협조 특성 연구”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 184~186, 2008.
- [4] 김진석, 문종필, 김재철 외, “과전류계전기를 고려한 초전도 전류제한기 적용위치에 따른 임피던스 비교 분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 139~140, 2009.
- [5] 강용철, 김연희, 국경수, 이영귀, 정대영, 이혜원, “마이크로그리드에 한류기 도입에 따른 적용형 과전류 계전 방식”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 558~559, 2010.
- [6] 김지원, 김광호, 이재문 외, “계통 연계 풍력발전단지의 출력 조건을 고려한 배전선 과전류 계전기 설정”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 342~344, 2003.
- [7] 신동열, 정종만, 신창훈, 김동명, “보산전원 연계선로에서 지락 고장시 중성선의 과전류 해석 및 대책”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 500~502, 2009.
- [8] 강상희 외 5인, “계통사고시 지수합수 형태로 감소하는 DC_Offset 성분을 계전신호에서 제거하는 Digital Filter 디자인”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 59~62, 1992. 7.
- [9] IEEE Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, “IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays”, IEEE Std. C37.112-1996, pp. 1~13, 1997.
- [10] G. Benmouyal, et. al, “IEEE STANDARD INVERSE-TIME CHARACTERISTIC EQUATION FOR OVERCURRENT RELAYS”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 14, No. 3, pp. 868~872, July 1999.
- [11] 한전표준규격, “과전류계전기”, ES(Technical Standards of KEPCO), ES-5945-0001, pp. 1~13, 2009. 12. 28.
- [12] LS산전, “DPR-001S의 사용설명서”, DPR 디지털 보호계전기, pp. 56~63, 2005.
- [13] 광성계측기, “KDZ-01 사용자설명서”, 배전반용 디지털 집합 계전기기 사용설명서, pp. 84~92.
- [14] 네오피스, “PROMET-U-I 사용자설명서”, 과전류 보호계전기 사용설명서, pp. 15~19.
- [15] 박철원, 김예지, 김도길, 김윤상, “ATP를 이용한 계통모델링과 사고해석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2217~2218, 2010.
- [16] 박철원, 강물결, 반우현, “과전류 계전기 TC 곡선에 관한 연구”, 대한전기학회 전력계통보호제어연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 23~25, 2011. 4.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.
(2010T100100415)