

발전기 보호용 전압억제 과전류 계전 알고리즘

박철원*, 김민지*, 반우현*, 한문석*, 안상지*
강릉원주대*

Voltage Restraint Overcurrent Relaying for Generator Protection

Chul-Won Park*, Min-Ji Kim*, Woo-Hyeon Ban*, Moon-Seog Han*, Sang-Ji Ahn*
Gangneung-Wonju National University*

Abstract - 발전기에서는 동기리액턴스와 시정수로 인해 내부 고장시 고장전류가 정격 부하 전류보다 작은 경우가 발생할 수 있어 과전류 요소만으로는 후비보호가 어렵기 때문에 전압요소가 추가된 전압억제 과전류 계전기를 사용한다. 대개 후비보호를 위한 과전류 계전기의 정정은 예기치 못한 과부하 상태에서 불필요한 트립을 방지하기 위해 전부하 전류의 1.5배~2배의 범위내로 한다.

본 연구에서는 A사의 G60을 Target 계전기로 삼아 연구를 수행하였는데, 전압억제 과전류 계전기의 반한시 특성 방정식과 동작원리를 분석하였다. 계전기법의 성능평가를 위해 ATP 데이터가 활용되었다. 시뮬레이션 도구는, MATLAB과 C-Language가 사용되었다.

1. 서 론

발전기에서는 일반적으로 단순한 과전류 계전기로 적절한 후비보호를 제공할 수 있도록 설정할 수 없다. 이에 후비보호를 위한 과전류 계전기의 설정은 통상 발전기 전부하의 전류의 1.5배~2배의 범위를 갖도록 하여 발전기가 예기치 못한 과부하 상태에서 불필요하게 트립되는 것을 방지할 수 있도록 한다[1]. 전력계통의 사고장에 대한 후비보호용 과전류계전기는 전압억제 또는 전압제어 반한시 형태가 사용되는데, 2가지 모두 예기치 못한 과부하에서는 동작하지 않도록 설계되지만 고장검출 감도는 적절하게 유지되어야 한다[2,3].

전압억제 과전류 계전기는 픽업을 계전기에 걸리는 전압에 따라 변동시키며, 발전기 Unit의 단락전류 시정수가 짧은 경우에 사용되고, 전압제어 과전류계전기는 민감하고 낮은 픽업을 가지며 전압계전기와 보호협조를 통해 제어한다[4]. 전압억제 과전류계전기는 과전류계전기에 전압억제 요소를 내장시킨 것으로 억제 전압이 작을수록 동작전압치도 작아지는 계전기이다. 전압제어 과전류계전기는 전압이 일정치 이하로 감소한 경우에 한하여 동작되는 과전류계전기로 고장전류가 최대 부하 전류보다 작은 경우에 사용된다[5,6].

모선 또는 송전선의 사고가 인근 차단기에 의해 제거되지 않을 경우 발전기는 계속해서 고장전류를 공급하기 때문에 사고를 최소화 하기 위해 후비보호 장치가 필요하다. 사고발생 수초 후 발전기가 공급하는 단락전류의 크기는 발전기의 정격전류 정도로 감소하기 때문에 후비보호용으로 한시과전류 계전기는 부적합하다. 따라서 전압억제 과전류 계전기 또는 거리계전기를 사용하는 것이 보호 협조상 유리하다[7,8].

전압억제 과전류계전기에 대한 해외의 연구 동향으로는, 1990년대에는 ANSI/IEEE 타입 전압억제와 전압제어 과전류계전기가 도입되어 점차 그 사용이 증가하기 시작하였다[9]. 2000년대 초반부터 지금까지 많은 발표는 없었으나, 인공지능회로망을 기반으로 전압억제 또는 전압제어 과전류계전기법이 제안되었고 다른 보호 요소와의 협조를 강조하는 경향이 연구 추세로 여겨진다[10~13].

본 연구에서는 A사의 G60을 Target 계전기로 삼아 연구를 수행하였는데, 전압억제 과전류계전기의 반한시 특성 방정식과 동작원리를 분석하였다. 계전기 성능 평가를 위해 EMTP/ATP 데이터를 활용하였다. MATLAB과 C-Language가 시뮬레이션 도구로 활용되었다.

2. 전압억제 과전류 계전 기법

2.1 전압억제 과전류계전기의 특성 방정식[14,15]

전압억제 과전류계전기의 반한시 특성 방정식은 과전류 계전기의 특성 방정식에 전압 요소를 추가한 것으로 표현할 수 있다. 식(1)은 A사의 발전기 보호용 다기능 IED에 적용된 알고리즘으로서 IEEE 반한시 과전류계전기의 특성이 바탕이 된 것이다. 본 논문에서는 표 1과 같이 국내 4곳의 발전소에서 실제로 적용한 정정값들을 비교해보았고, A 발전소의 정정치를 적용하였다. A, B, p와 같은 상수들은 IEEE 표준에서 정의한 값들을 사용하였다.

$$G60 = K \times \left[\frac{A}{\left(\frac{I/I_{pu}}{V/V_{nom}} \right)^p - 1} + B \right] \quad (1)$$

여기서, K = Time factor, I_{pu} = Pickup current,
 V_{nom} = Nominal voltage, A, B, p = Constant

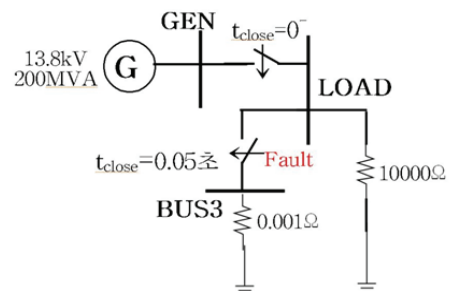
〈표 1〉 국내 발전소별 전압억제 과전류 계전기의 정정치 비교[16]

Relay	Power Plant	CT ratio/ PT ratio	Setting Value
51V	A	8000/5[A] 18000/120[V]	Pick-up : 8[A] K : 2[sec] Vnom : 120[V]
	B	8000/5[A] 18000/120[V]	Pick-up : 8[A] K : 2[sec] Vnom : 120[V]
	C	9000/5[A] 18000/120[V]	Pick-up : 6.14[A] K : 1.06[sec] Vnom : 120[V]
	D	8000/5[A] 18000/120[V]	Pick-up : 6.91[A] K : 1.06[sec] Vnom : 120[V]

3. 사례 연구

3.1 EMTP/ATP에 의한 모델링

제시된 알고리즘의 성능 검증을 위하여, 그림 1과 같이 EMTP/ATP를 이용하여 발전기 정격전압은 13.8[kV], 정격용량은 200[MVA]인 간단한 모델 계통을 구성한 후, 시뮬레이션 데이터를 수집하였다. 동기발전기 내부정수들은 대표적으로 전기차 저항은 0.001086[pu], d축 리액턴스는 1.7[pu], d축 과도 리액턴스는 0.238324[pu], d축 차과도 리액턴스는 0.184690[pu], q축 리액턴스는 1.64[pu], q축 과도 리액턴스는 1.64[pu], q축 차과도 리액턴스는 0.185151[pu]로 설정하였다. 시뮬레이션 조건은 A상 지락사고이며, 고장저항을 0.0001, 1, 5, 50, 100, 150[Ω]으로 변화시키면서 성능을 평가하였다. 샘플링 수는 12[S/C]로 설정하였다[17,18].

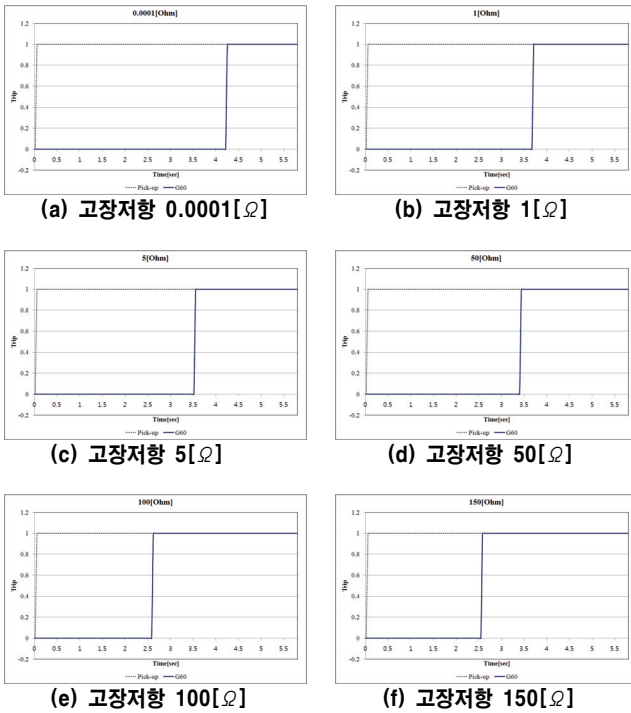


〈그림 1〉 모델 전력계통

3.2 성능 평가

본 연구에서의 PT 비는 7200:120[V]으로, CT 비는 300:5[A]로 채택하였다. 그림 2는 A상 지락사고 시 각 고장저항 별 트립 신호를 나타낸 것이다. 각 사례별로 픽업이 이루어진 시간은 0.0555[s]로 동일하다. 그

림 2(a)에서 계전기 트립이 발생한 시각은 4.2731[s], 그림 2(b)에서 계전기 트립이 발생한 시각은 3.7012[s], 그림 2(c)에서 계전기 트립이 발생한 시각은 3.5429[s], 그림 2(d)에서 계전기 트립이 발생한 시각은 3.4558[s], 그림 2(e)에서 계전기 트립이 발생한 시각은 2.6083[s], 그림 2(f)에서 계전기 트립이 발생한 시각은 2.5904[s]이다.



〈그림 2〉 A상 지락사고 시 각 고장저항 별 트립신호

상기 그림으로부터 고장저항이 증가할수록 고장전류의 크기는 점점 감소하여 정상상태에서의 부하전류 크기와 차이가 크지 않게 됨을 알 수 있다. 본 계전기는 저저항 접지 지락일 때보다 고저항 접지 지락일 경우 더욱 민감하게 동작한다. 따라서 발전기에서는 전압 요소를 추가한 전압억제 과전류 계전기가 필수적이라고 생각된다. 시뮬레이션의 모든 결과를 비교하기 쉽게 정리하여 표 2에 기술하였다.

〈표 2〉 시뮬레이션 결과 비교정리

Fault Type	Fault Resistance[Ω]	Trip Time[s]
A phase ground fault	0.0001	4.2731
	1	3.7012
	5	3.5429
	50	3.4558
	100	2.6083
	150	2.5904

4. 결 론

본 논문에서는 발전기 후비보호 요소 중 하나인 전압억제 과전류계전기에 관하여 연구하였다. 발전기 고장발생 수초 후 후비보호를 위한 과전류계전기는 발전기가 공급하는 단락전류의 크기가 발전기의 정격전류 정도로 감소한다. 따라서 과전류 요소만가지고는 충분한 보호협조가 이루어질 수 없다. 이를 위해 전압요소를 추가하여 위와 같은 과전류계전기의 문제점을 보완한 것이 전압억제 과전류계전기의 큰 특징이라 볼 수 있다.

보호 알고리즘의 성능 평가를 위해서 EMTP/ATP 모델링 데이터를 활용하여, 다양한 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 고저항 접지 지락 사고일 때 계전기의 감도가 더욱 민감해졌다. 역상 과전류계전기와 잔류 과전압 보호 계전기와와의 보호 협조를 통해 보다 안정감 있는 발전기 후비 보호로 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

[1] 박철원 외, “대형 발전기 내부사고 보호를 위한 다기능 IED 시제품 기술 개발”, 지식경제 기술혁신사업 2차년도 연차보고서, pp. 1~

231, 2012. 5.
 [2] 이승재 외, “보호계전기 정정수립에 관한 연구”, 최종보고서, pp. 1~442, 2003. 6.
 [3] 박철원, 반우현, “대형 발전기 보호를 위한 차세대 전력기기 개발의 개요”, 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, pp. 371~373, 2011. 4.
 [4] C.J. Mozina et al., “IEEE Tutorial on the Protection of Synchronous Generators”, IEEE Power Engineering Society, IEEE 95 TP 102, pp. 1~78, 1995.
 [5] IEEE Power Engineering Society, “Guide for AC Generator Protection”, IEEE Std. C37.102-2006 pp. 1~167, 2006. 11.
 [6] IEEE Power Engineering Society, “Guide for AC Generator Ground Protection”, IEEE Std. C37.101-2006 pp. 1~67, 2006. 11.
 [7] ABB, “Generator Protection REG670 Technical reference manual”, pp. 1~976, 2011.
 [8] Siemens, “Siprotec Numerical Protection Relays”, Part 2, Vol. 11, pp. 1~102, 2006.
 [9] Yasser G. Mostafa et al., “Neural Network Based Overcurrent Voltage Controlled Protection System in Large Electrical Networks”, 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference pp. 1~6, 2009.
 [10] David Beach et al., “Arc Flash Mitigation Through Use Of Voltage Controlled/Voltage Restrained Overcurrent Elements”, Protective Relay Engineering, 60th Annual Conference, pp. 194~217, 2007.
 [11] Del Ventruella et al., “A Second Look at Generator 51-V Relays”, IEEE Transactions on Industry Application, pp. 848~856, 1997.
 [12] Yasser G. Mostafa et al., “Co-ordination of Overcurrent Voltage Controlled Protection in Large Electrical Networks Using Particle Swarm Optimization Technique”, ICCES 2009. International Conference on Computer Engineering & Systems, pp. 543~548, 2009.
 [13] Jerry Johnson et al., “Voltage Restrained Time Overcurrent Relay Principles, Coordination, and Dynamic Testing Considerations”, 54th Annual Conference for Protection Relay Engineers, Texas A&M University, April 3-5, 2001.
 [14] GE Industrial Systems, “G60 Generator Protection System UR Series Instruction Manual”, pp. 1~F12, 2003.
 [15] GE Industrial Systems, “DGP Digital Generator Protection System Instruction Manual”, pp. 1~C4, 2003.
 [16] 박철원 외, “전압 억제 과전류 계전기에 관한 연구”, 2011년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, PAP013.pdf, 2011. 7.20-22.
 [17] KEUG, “EMTP 중급자 강좌”, pp. 1~100, 2011.7.
 [18] 박철원, 반우현, “ATPDraw5.7p4 모델링 데이터를 이용한 전압억제 과전류계전기 동작특성에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, Vol. 61P, No. 1, pp. 23~28, 2012. 3.

감사의 글

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