

전압 불안정시 PSS/E 사용자 정의모델로 구현된 거리계전기 응용 특성

이동규*, 강상희*, 양정재**, 오화진**, 장병태***
 *명지대학교 차세대전력기술연구센터, **한국전력거래소, ***전력연구원

Operating Characteristic of a User Defined Distance Relay Model in PSS/E during Voltage Instability

D.G. Lee*, S.H. Kang*, J.J. Yang**, H.W. Oh**, B.T. Jang***
 *NPTC Myongji University, **KPX, ***KEPRI

Abstract - This paper presented a method to develop a relay model by the user-written model function of PSS/E. As for the voltage instability, although generator current limiters, transformer's tap-changers and dynamic loads have been considered as the dominant components, the protection system is also very important because it may influence the system's dynamic behaviour. Hence a distance relay model implemented with the suggested method was added, and then the operating characteristics of the distance relay under the voltage instability condition were investigated.

1. 서 론

전력 수요의 증가로 인하여 계통내 부하 밀집지역 등에서 전압의 이상 저하 내지는 무효전력 부족에 기인하는 전압 안정도에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.[1,2] 전압 불안정 현상은 특정 모선의 전압 붕괴(Voltage Collapse)를 유발할 수 있으며, 지속적인 손실 증가와 전압 붕괴의 파급으로 계통 전체를 광역 정전(Black Out)에 이르게 할 수 있기 때문에, 전력계통의 운영과 계획 분야에서 중요한 문제로 인식되고 있다. 일반적으로 전력 계통의 전압 불안정 현상은 전송선로의 전송능력을 초과하는 과중한 부하 조건에서 발생하며, 지역적으로 불충분한 무효전력의 공급[3,4] 등의 원인으로 발생한다.

송전계통이 중부하일 수록 전력계통의 전압 불안정 가능성은 크게 높아지지만, 계통의 부하 증가 및 복잡화 추세에 비하여 전력계통의 전압 붕괴시 보호계전기 동작 상관관계에 대한 연구는 상대적으로 열악한 실정이다. 전압 불안정 해석시 발전기의 여자 전류 제한기, 변압기 탭 제인저, 다이내믹 부하의 영향 뿐만 아니라 보호계전기의 응용 특성이 중요한 변수이지만[4], 전력 계통 해석을 위해 일반적으로 사용하고 있는 프로그램인 PSS/E의 계전기 모델은 초보적인 특성만 구현되어 있으므로 국내에서 사용 중인 보호계전기의 일부만 제한적으로 표현할 수 있어 계통 시뮬레이션 시 보호 시스템의 정밀 해석이 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 PSS/E의 사용자 정의 모델 기능을 이용하여 계전기 모델을 추가하는 방법을 제안하였으며, 이를 사용하여 현재 국내에서 사용 중인 선로 보호 거리계전기 모델과 동일한 동작 특성을 갖는 계전기 모델을 추가하여 전압 불안정 현상 시 거리계전기의 응용을 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 사용자 정의 모델

PSS/E에서 제공하는 계전기 모델들은 특정 회사의 계전기 특성을 지원하는 것이 아니라 일반적인 원리들로 구현되어 있다. 트립 신호는 Timer를 사용하여 지연 시

간을 설정할 수 있고, Circuit Breaker 동작까지의 지연 시간을 모의하기 위해 CB timer를 사용할 수 있으며, CB timer가 0이 되면 Monitoring Line의 양단이 계통에서 분리된다.

거리 계전기 모델의 동작영역은 모(Mho)형, 임피던스형, 리액턴스형, 사변형 등의 설정이 가능하나, 현재 국내에서 사용중인 계전기의 동작 영역 특성과는 차이가 있으며, 새로운 기능은 추가할 수 없다.

PSS/E는 사용자 정의 모델의 특성에 따라 플랜트관련(plant-related) 모델, 부하관련(load-related) 모델, 선로 계전기(line relay) 및 기타 모델을 정의할 수 있는 기능을 제공하며, 구현에 필요한 전압, 전류, 주파수와 같은 데이터는 Machine Index, Bus Sequence Number를 사용하여 Dynamic Simulation Arrays에서 해당 값을 참조하면 된다. 추가된 모델의 경우 다이내믹 데이터가 입력될 때 CONEC 서브루틴에서 호출하게 되므로 포트란 언어나 FLECS로 구현된 서브루틴을 conec.flx 파일에 추가하여 컴파일하면 사용이 가능하다. 그림 1은 사용자 정의모델을 사용하여 계전기 모델을 추가하는 일련의 과정을 보여준다.

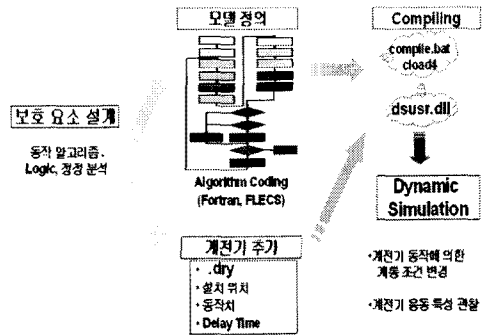


그림 1. 계전기 모델 추가 과정

본 논문에서는 선로 계전기 사용자 정의 모델을 사용하여 현재 국내에서 사용 중인 한 외국제품인 송전선로 보호용 거리계전기를 구현하였다.

2.2 전압 불안정시 오동작 방지 알고리즘

전압 불안정과 고상 상태를 구분하는 가장 기본적인 방법은 전압의 변화 속도를 관찰하는 것이다. 고장 발생에 의해 전압이 감소하는 경우는 그 변화율이 상당히 크게 나타나므로, 고장시 나타날 수 있는 전압의 최대 기울기를 사용하면 전압 불안정시 거리계전기의 오동작을 방지할 수 있다.[5] 그림 2는 이러한 알고리즘의 순서도이다.

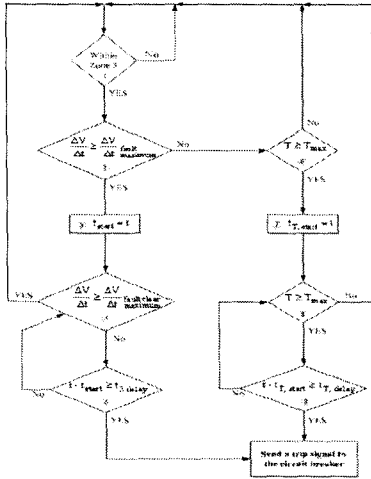


그림 2. 전압 불안정시 거리계전기 오동작 방지 알고리즘

2.3 전압 불안정 시나리오

전압 불안정 현상을 모의하기 위한 시나리오는 실제로 전압붕괴가 발생한 경우를 바탕으로 연속적인 사건 발생의 시나리오를 결정하여 실제 계통 모델에서 재현하는 방법[5], 모델 계통에서 일부 선로를 차단하여 장거리 선로의 조류 및 전력 손실을 증가시키는 방법[6,7], 전체 계통 중 관찰하고자 하는 지역에서 전압붕괴가 발생할 때까지 일정 비율로 부하량을 증가시키는 방법 등이 주로 사용된다.[8,9] 본 논문에서는 그림 3의 New England 39모선 모델 계통에서 유효 전력 부하보다 무효 전력 부하를 보다 많이 증가시키는, 그림 4와 같은 부하 증가 패턴을 사용하여 전압 불안정 현상을 모의하여 거리계전기의 응답을 관찰하였다.

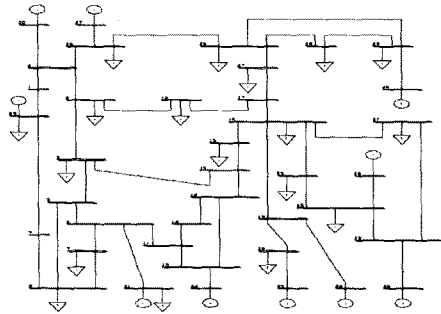


그림 3. 10기 39모선 모델계통

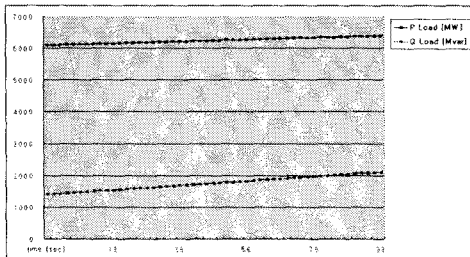


그림 4. 부하 증가 패턴

그림 5는 그림 4와 같은 패턴으로 부하를 증가시켰을 때 주요 모선의 전압으로, 전압이 서서히 감소하다가 어느 순간 급격한 붕괴를 보이는 전형적인 전압 붕괴 현상을 보여준다.

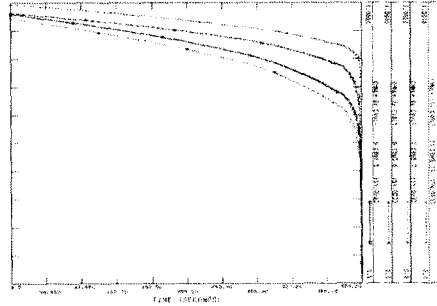


그림 5. 주요 모선의 전압

2.4 전압 불안정 시 거리계전기의 응답 특성 관찰

전압 불안정 시 거리계전기의 응답 특성을 관찰하기 위하여 그림 3의 모델 계통에서 모선6에 PSS/E에서 기본적으로 제공하는 모(mho)형 거리계전기를 설치하여 6-7의 선로에서 측정되는 임피던스를 관찰하였다.

모선6의 전압은 364 [sec]에 0.8[pu]이하로 떨어지며, 측정 임피던스는 그림 6에서 보여지듯이 373[sec]에 거리계전기의 Zone3영역에 진입하므로 6-7선로는 거리계전기의 오동작에 의해 차단되게 된다. 그림 7에서 알 수 있듯이 이와 같은 거리계전기의 오동작은 급격한 계통의 붕괴를 초래하게 된다.

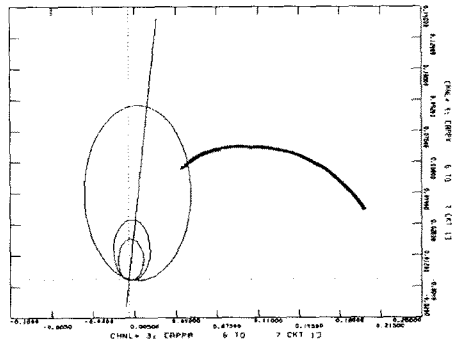


그림 6. 거리계전기 측정 임피던스 궤적

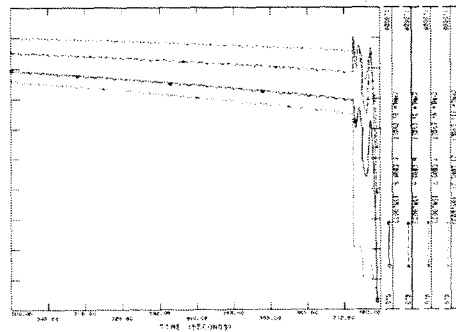


그림 7. 거리계전기 동작시 주요 모선 전압

PSS/E에서 기본적으로 제공하는 계전기 모델은 현재 국내에서 사용중인 계전기의 동작 영역 특성과는 차이가 있으며, 새로운 기능은 추가할 수 없다. 따라서 실사용 중인 계전기의 응답 특성을 보다 정밀하게 관찰하기 위하여 사용자 정의 모델 기능을 이용하여 사변형 동작 특성을 갖는 거리계전기 모델을 구현하고, 전압 강하에 의한 오동작을 방지하기 위하여 그림 2의 알고리즘을 추가하였다. 그림 8은 구현된 거리 계전기에서 측정된 임피던스 궤적으로 모(mho)형 동작 특성보다 좀더 빠르게 Zone3 동작 영역에 진입하나 오동작 방지 알고리즘에 의해 선로 차단은 발생하지 않는다. 그림 9는 이때의 전압과 선로 차단되었을 때의 전압을 비교한 것으로 거리계전기의 오동작을 방지함으로써 계통의 전압 붕괴를 조금 더 늦출 수 있음을 알 수 있다.

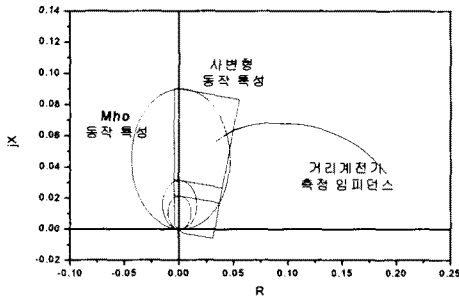


그림 8. 구현된 거리계전기의 측정 임피던스 궤적

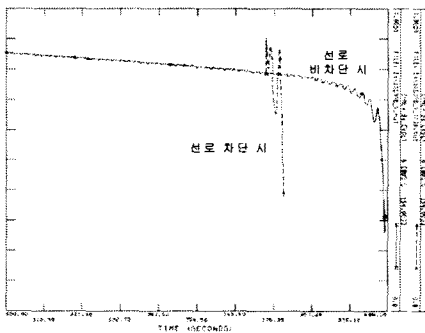


그림 9. 모선 6의 전압 비교(선로 차단:비차단)

3. 결 론

본 논문에서는 PSS/E의 사용자 정의 모델 기능을 이용하여 계전기 모델을 추가하는 방법을 제안하였으며, 이를 사용하여 현재 국내에서 사용 중인 선로 보호 거리계전기 모델과 동일한 동작 특성을 갖는 계전기 모델을 추가하여 전압 불안정 현상 시 거리계전기의 응답을 관찰하였다.

전압 불안정 현상의 해석시 일반적으로 발전기 여자 전류 제한기, 탭 체인저, 다이내믹 부하의 영향 등을 주요 변수로 고려한다. 그렇지만 시스템의 과도특성에 영향을 미치는 보호계전기의 응답 특성 또한 중요한 변수이다. 현재 PSS/E를 사용하여 전력 계통 모의시 보호계전기의 동작에 의한 계통구성의 변경은 실제 과도특성과 무관하게 사전에 정한 시간적 시나리오에 따라 수행

하고 있으나 본 논문에서 제안한 방법을 사용하면 보호 시스템의 응답을 고려한 보다 정밀한 계통의 해석이 가능한 것을 보였으며, 따라서 사용자 정의 모델을 현재 사용하고 있는 모든 계전기로 확장하면 계전기의 오/부 동작 원인 분석, 정정을 개선, 광역 보호시스템 구축 등에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ju, P., Zhou, X. Y., "Dynamic equivalents of distribution systems for voltage stability studies", IEE Proceedings- Generation, Transmission and Distribution, Vol.148, No.1, pp49-53, Jan. 2001
- [2] Lind, R., Karlsson, D., "Distribution system modelling for voltage stability studies", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.11, No.4, pp1677-1682, Nov. 1996
- [3] G.B. Jasmon, L.H.C.C. Lee, "Stability of load flow techniques for distribution system voltage stability analysis", IEE Proceedings-C, Vol.139, No.6, pp.241-251, May 1992
- [4] Mattias Jonsson, "Line Protection and Power System Collapse", 2001
- [5] Jonsson, M., Daalder, J., "Distance Protection and Voltage Stability", Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on , Vol.2 , pp.971 -976, 4-7 Dec. 2000
- [6] Deuse, J., Stubbe, M., "Dynamic simulation of voltage collapses", Power Systems, IEEE Transactions on , Vol.8, No. 3, pp.894-904 , Aug. 1993
- [7] Lachs, W.R., Sutanto, D., "The dynamics of system voltage instability", Energy Management and Power Delivery, Proceedings of EMPD'95., International Conference on , Vol.1 , pp.331-336, 21-23 Nov. 1995
- [8] Begovic, M.M., Phadke, A.G., " Analysis of voltage collapse by simulation", Circuits and Systems, IEEE International Symposium on, 8-11 May 1989, pp1855-1858
- [9] Kurita, A., Okubo, H., Oki, K., Agematsu, S., Kalpper, D.B., Miller, N.W., Price, W.W., Jr., Sanchez-Gasca, J.J., Wirgau, K.A., Younkins, T.T., "Multiple time-scale power system dynamic simulation", Power Systems, IEEE Transactions on, Vol.8, No.1, pp.216-223, Feb. 1993