

UPFC가 연계된 선로에서 RTDS를 이용한 거리계전기의 동특성 시험에 관한 연구

정창호* · 김진오
한양대학교 전기공학과

A Study on Dynamic Test of Distance Relay for Transmission Line with the Unified Power Flow Controller Using the Real-Time Digital Simulator(RTDS)

Chang-Ho Jung* · Jin-O Kim
Dept. of EE, Hanyang University

Abstract - This paper discusses the dynamic test of distance relay on transmission line connected unified power flow controller(UPFC) using the real-time digital simulator(RTDS).

Depending on operating conditions of UPFC, the trip characteristics of distance relay is influenced by the prefaul conditions.

In this paper, UPFC is established using the RTDS and then relay test is performed on real time.

$$P(\delta, \rho) = \frac{V^2}{X} \sin(\delta) - \frac{V \cdot V_{pmax}}{X} \cos\left(\frac{\delta}{2} + \rho\right) \quad (1)$$

$$Q(\delta, \rho) = \frac{-V^2}{X} (1 - \cos(\delta)) - \frac{V \cdot V_{pmax}}{X} \sin\left(\frac{\delta}{2} + \rho\right)$$

1. 서 론

현재 송전용량증대와 전압안정 등을 목적으로 FACTS 기기가 많이 연구되고 있으며 일부 적용되고 있다. 이러한 FACTS기기는 기존의 송전선로를 추가로 증설하지 않고 송전용량을 증대할 수 있는 등 많은 장점이 있어 활발히 연구 적용되고 있다. 특히 이러한 FACTS기기 중 UPFC는 무효전력 제어뿐만 아니라 유효전력까지도 제어할 수 있어 많은 적용이 예상되고 있다. 그러나 이러한 FACTS기기는 기존의 송전선로 보호용 계전기에 많은 영향을 줄 수 있어 많은 검토가 필요하다.

특히 송전선로에서 후비보호로 가장 많이 사용되는 거리계전기는 자단의 전압과 전류로만 동작하도록 되어있어 후비보호가 가능하고 외부사고에 대해서도 감지가 가능하다. 그러나 거리계전기는 계통의 영향을 가장 많이 받는 계전기이기도 하여 계통상황을 정확하게 예측하여 계전기 정정에 반영하여야 오동작과 부동작을 방지할 수 있다. 계통의 영향으로는 역률과 부하임피던스 그리고 고장저항 등을 들 수 있는데, 특히 선로에 UPFC와 같은 보상기기가 설치된 경우 계통의 영향을 많이 받는 거리계전기의 입장에서 충분한 특성연구가 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 UPFC가 송전선로에 설치되었을 경우 기존의 거리계전기가 어떠한 특성을 가지고 동작할 것인가를 미리 예측하여 보호협조에 적용하고, 기존의 거리계전기의 보호능력을 시험하기 위해 UPFC를 실시간 시뮬레이터인 RTDS로 구현하였으며 이를 이용하여 UPFC가 연계된 선로에서 거리계전기의 실시간 시험을 실시하였다.

2. UPFC의 동작특성과 거리계전기

UPFC가 선로에 설치된 경우 전송가능한 유효전력과 무효전력은 식 1과 같고 이때 UPFC에서 보상하는 Vpq의 크기와 위상에 따라 보상범위를 그림으로 표현하면 그림 1과 같다.

그림 1에서 UPFC의 운전방식에 따라 유효전력과 무효전력의 제어가 가능하며 이때 보상정도에 따라 부하전류도 다르게 된다. UPFC에 의해서 보상되는 Vpq의 크기는 Vpqmax까지 그리고 위상은 0° -360° 까지 제어가 가능하다.

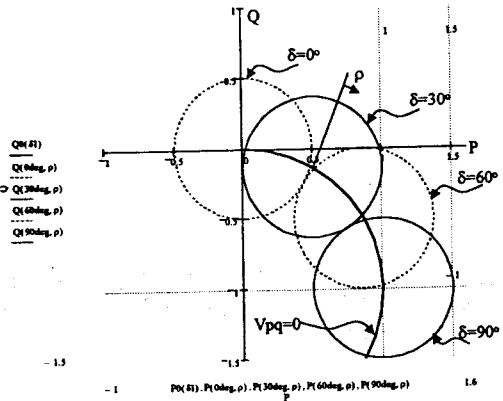


그림 1. UPFC의 운전가능 범위

그림 2(a)와 같이 UPFC가 설치된 경우 등가회로는 그림 2(b)와 같으며 이 경우 선로에 흐르는 부하전류는 식 2와 같다.

$$I = \frac{V_S - V_R + V_{pq}}{R + jL} \quad (2)$$

따라서 거리계전기가 보는 부하전류는 Vpq의 보상정도에 따라 다르게 되고 거리계전기가 보는 임피던스에 영향을 주게된다.

그림 3은 UPFC에서 보상되는 Vpq의 보상정도에 따라 달라지는 부하전류를 벡터도로 표현한 것이다. 그림 3에서 (a)의 UPFC가 없는 경우의 부하전류와 (b)의 UPFC가 설치된 경우의 부하전류는 서로 다르며 UPFC의 운전범위에 따라 다르다. 따라서 일반적으로 선로의 임피던스를 계산하여 보호하는 거리계전기는 계전기가 설치된 모선의 전압과 선로전류만을 이용하므로 부하나 역률에 따라 고저항 특성사고가 발생하면 거리계전기가 보는 임피던스의 특성도 변화하여 거리계전기의 Underreach 및 Overreach의 원인이 된다.

거리계전기의 임피던스 계산은 식 3과 같으며 거리계전기가 보는 임피던스는 그림 4와 같은 특성을 갖는다. 고정저항이 클수록 부하의 임피던스와 역률에 영향을 받아 실제의 임피던스와 차이가 발생하여 그림 4와 같이

실제 정정한 범위를 벗어나 거리계전기가 Underreach하거나 Overreach하는 원인이 된다.

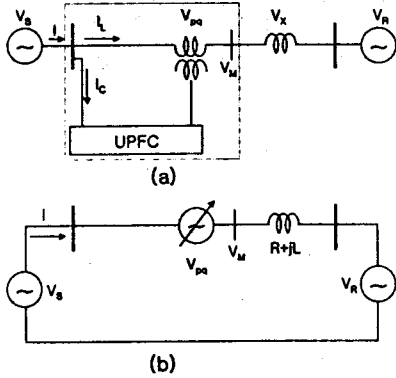


그림 2. UPFC가 연계된 선로의 등가회로

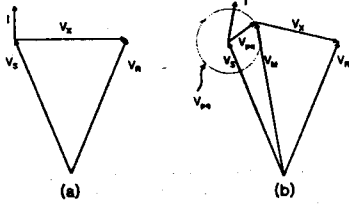


그림 3. UPFC가 설치된 경우와 설치되지 않은 경우의 부하전류

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A + \left(\frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L0}} \right) \cdot I_0} \quad (3)$$

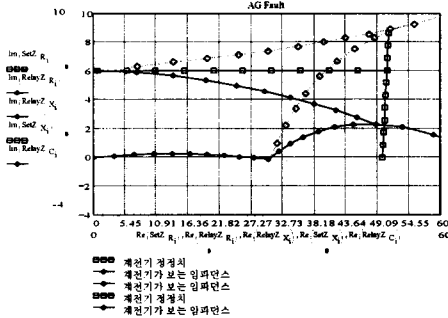


그림 4. 지락사고시 거리계전기가 보는 임피던스

3. 사례연구

3.1 RTDS를 이용한 UPFC 및 계전기 시험 모델링
RTDS는 실시간 전력계통 시뮬레이터로서 많은 분야에서 활용되고 있는데 특히 계통의 과도현상을 실시간으로 구현할 필요가 있을 때 많이 사용되는 장비이다. 특히 계전기의 동특성 시험에도 많이 사용되기 때문에 본 논문에서도 이러한 장점을 이용하여 UPFC가 계통에 연

계된 경우의 거리계전기의 응답특성을 분석하기 위해 RTDS를 사용하였다.

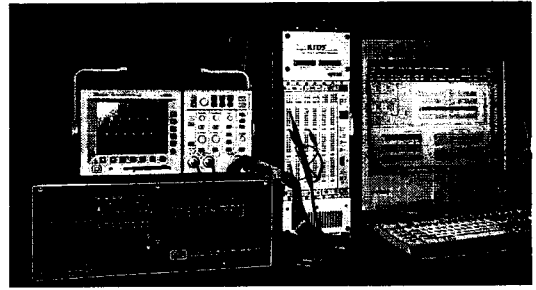


그림 5. RTDS를 이용한 계전기 시험장면

계전기 시험을 위해 RTDS의 출력은 AC±10V 이므로 이 출력을 계전기의 내의 CT,PT보드 출력 측, A/D보드 입력에 바로 연결하고, 계전기의 D/O는 RTDS의 D/I에 연결하여 계전기가 Trip되면 RTDS내부에 구현된 차단기가 동작되도록 하였고 RTDS의 D/I Sequence는 그림 6과 같다.

전압,전류 앰프를 사용하지 않았기 때문에 RTDS에서 적절하게 Turing을 실시하였으며 시험대상 계전기의 보호기능은 그림 7과 같다.

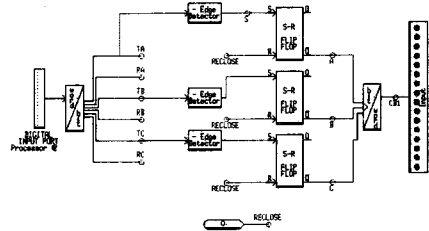


그림 6. RTDS의 D/I Sequence

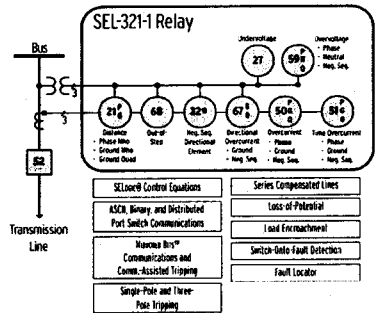


그림 7. 시험대상 계전기의 보호기능

사례연구를 위해 사용된 모델은 그림 2와 같고 RTDS의 계통화면은 그림 8과 같다. 그리고 계통의 정수는 아래와 같으며 사고지점은 100km지점에서 1선 지락사고를 발생시켰다.

$$he^{j\theta} = \frac{V_R}{V_S} \quad (4)$$

$h=0.98, \theta=15^\circ$, Line length : 100 km
 $Z_{L1} = 0.0436 + j0.3445 \Omega/\text{km}$
 $Z_{L0} = 0.2380 + j1.0443 \Omega/\text{km}$

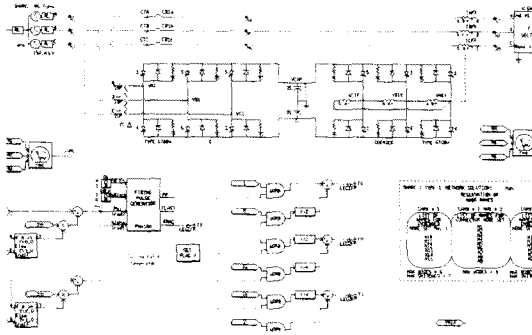


그림 8. RTDS를 이용한 UPFC 모델계통도

3.1 UPFC의 운전방식과 거리계전기의 동작

그림 9에서 그림 12는 UPFC의 직렬 Converter의 점호각을 90° , 145° , 215° , 270° 로 변화시켜가며 UPFC의 보상전 A상의 전압과 보상후 A상의 전압을 표시한 것이며 UPFC의 정상적인 동작을 확인한 후 사고를 발생시켜 거리계전기의 동작을 확인하였다.

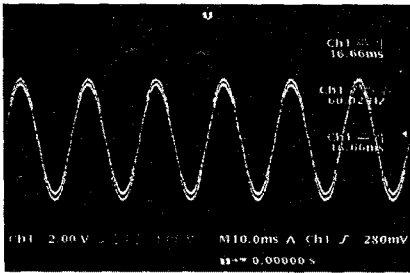


그림 9. UPFC의 보상전압이 0° 인 경우 (보상전 전압과 보상후 전압)

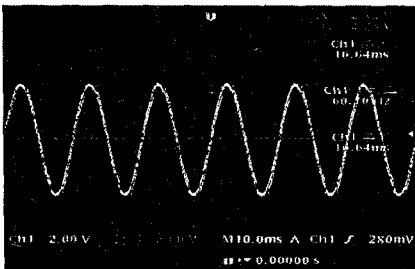


그림 10. UPFC의 보상전압이 270° 인 경우 (보상전 전압과 보상후 전압)

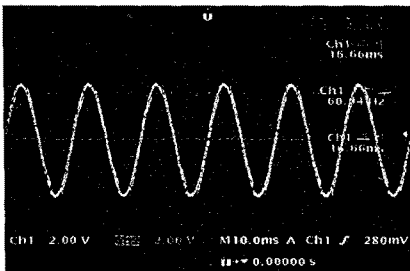


그림 11. UPFC의 보상전압이 90° 인 경우 (보상전 전압과 보상후 전압)

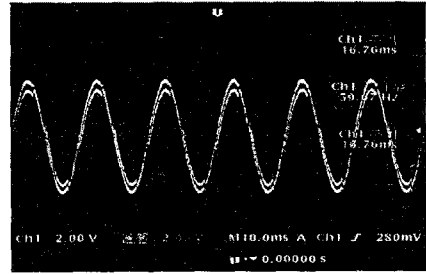


그림 12. UPFC의 보상전압이 145° 인 경우 (보상전 전압과 보상후 전압)

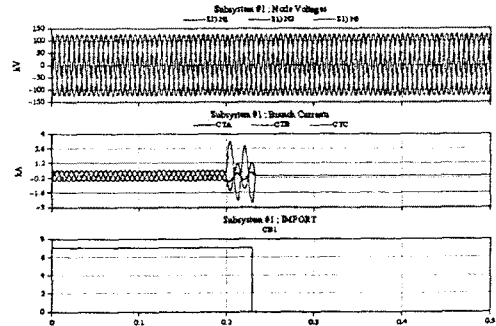


그림 13. UPFC 운전중 사고가 발생한 경우 계전기 동작

그림 13은 UPFC가 운전중에 100km지점에서 1선지락 사고가 발생한 경우인데, 사고는 0.2초에 발생하였고 거리계전기는 약 30ms후에 Trip하였음을 알 수 있다.

4. 결론

현재 활발히 연구되고 실용화에 근접해 있는 FACTS 기기는 무효전력과 일부 유효전력까지 보상이 가능하여 향후 많은 적용이 가능할 것으로 생각되지만 송전선에 이러한 보상설비를 설치하는 경우 송전선로의 선로정수 및 계통의 정수가 변화하여 이를 근거로 보호구간을 판단하는 거리계전기의 동작특성이 변화한다.

따라서 본 논문에서는 이러한 현상을 확인하고 검토하기 위해 전력계통 실시간 시뮬레이터인 RTDS를 이용하여 FACTS기기중에 UPFC를 구현하여 실시간으로 거리계전기의 시험을 실시하였다. 앞으로 UPFC의 영향을 검토하고 그 대책을 수립하기 위해 UPFC의 운전방식 그리고 거리계전기의 모든 기능을 시험할 수 있도록 상세한 시험항목을 선정하여 시험할 예정이다.

[참고문헌]

- [1] P.K.Dash, "Adaptive Relay Setting for Flexible AC Transmission System(FACTS), IEEE Power Delivery, Vol. 15, No. 1, 2000.
- [2] Hideaki Fujita, "Control and Analysis of Unified Power Flow Controller", IEEE Power Electronics, Vol. 14, No. 6, 1999.
- [3] K.R.Padiyar, "Control Design and Simulation of Unified Power Flow Controller", IEEE Power Delivery, Vol. 13, No. 4, 1998.
- [4] C.F. Wagner, R.D.Evans, "Symmetrical Components", 1993.
- [5] NarainG. Hingorani, "Understanding FACTS", 1999.