

UPFC연계시 거리계전기 동작특성에 따른 보호 관리 시스템

서정남 · 정창호 · 조종만* · 김진오
 한양대학교 전기공학과 · 전력거래소*

Protective Management System followed Distance Relay characteristics for Transmission Line with the Unified Power Flow Controller

Jung-nam Suh · Chang-Ho Jung · Cho-Jong Man* · Jin-O Kim
 Dept. of EE, Hanyang University · Korea Power Exchange*

Abstract - This paper represents protective management system for transmission line involving the UPFC (Unified Power Flow Controller) device, which is the most vigorous component of FACTS. The presence of the UPFC significantly affects the line parameters of transmission system, which are also influenced by the distance relay setting. Moreover, depending on the UPFC location and its parameters, zones of setting the distance relay will be changed. Therefore, established protective system should be taken into account the variable injected voltage of the UPFC and constructed data base system.

1. 서 론

최근 송전용량의 증가 및 전력조류의 최적화를 위한 교류송전시스템인 FACTS기기가 각광을 받고 있는데 그 중에서도 UPFC는 선로의 전압을 임의의 크기와 위상을 갖도록 제어하여 선로로 전송되는 유효·무효전력을 총체적으로 보상하는 기능을 가지므로 가장 우수한 FACTS기기 중에 하나로 볼 수 있다. 이런 UPFC같은 FACTS기기가 계통에 연계되어 운영된다면 계통의 보호분야 측면에서 새로운 문제가 야기될 수 있는데 그 이유는 FACTS기기의 종류에 따른 운전방식과 설치지점에 따라 송전선로 매개변수가 변하기 때문이다. 그래서 기존의 보호계전기가 오동작 및 부동작이 나지 않도록 이를 정확히 예측하여 보호 계전기 정정에 반영하여 보호 관리 시스템을 구축할 필요가 있다. 보호 관리 시스템은 계통 안정도와 신뢰도에 중요한 영향을 미칠 수 있으므로 여러 계통상황을 충분히 고려하여 보호 관리 시스템을 구성할 필요가 있다.

본 연구에서는 FACTS기기중 가장 우수한 기기 중에 하나인 UPFC가 계통에 연계되었을 경우 UPFC 운전 제어에 따른 송전선로 매개변수를 데이터 베이스화 시켜 거리계전기 정정시 이를 고려한 보호 관리 시스템을 구축하여 보호협조시 도움을 주는데 목적을 두고 있다.

2. 본 론

2.1. UPFC 동작특성과 거리계전기

송전선로에 UPFC가 연계되었을 경우 전송 가능한 유효전력과 무효전력은 UPFC의 보상전압 V_{bc} 특성에 의해 식 1과 같이 나타내게 된다.

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

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

V_{bc} 는 보상전압의 크기를 나타내는 ρ 과 보상전압의 위상을 나타내는 θ 에 의해 제어되어 $|V_{bc}|e^{-j\theta}$ 로 표현할 수 있는데 여기서 보상전압의 크기는 최대 한계치 내에서 직류링크 전압과 직렬 인버터의 변조율에 의해 결정되어지고, 보상전압의 위상은 $0 < \theta < 2\pi$ 인 범위 내에서 임의의 조정하여 운전하게 된다. 일반적으로 선로의 임피던스를 계산하여 보호하는 거리계전기는 계전기가 설치된 모선의 전압과 선로 전류만을 이용하므로 UPFC같은 FACTS기기가 연계되면 선로 매개변수가 변하여 기존의 거리계전기가 보는 임피던스에 영향을 주어 오동작 및 부동작이 일어날 수 있기 때문에 거리계전기 정정을 다시 해주어야 할 것이다.

2.2. UPFC 시뮬레이션을 위한 계통 모델링

UPFC운전방식에 따라 거리계전기가 보는 임피던스 특성을 알아보기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 UPFC 및 송전선로 모델링 한 것을 그림 1에 나타내었다. UPFC에 사용된 인버터는 PWM 스위칭방식을 사용하여 구동하였다.

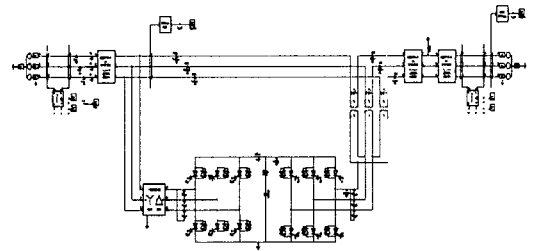


그림 1. PSCAD/EMTDC를 이용한 UPFC가 연계된 모델계통

UPFC가 연계된 송전 모델계통에서 지락사고를 모의하였을 경우 UPFC가 연계되지 않았을 경우보다 선로 보상전압인 V_{bc} 에 의해 선로전류가 변하게 되어 계전기가 보는 선로 임피던스가 변하게 된다.

3. 사례연구

계통 보호 분야측면에서 UPFC운전에 따른 계전기가 보는 임피던스 특성을 데이터 베이스화 시키기 위하여 여러 가지 UPFC운전방식에 따른 특성을 연구하였다. 사례연구를 위해 UPFC가 연계된 계통 등가회로를 그림 2에 나타내었고, 여기에서 시스템 매개변수와 계통조건은 아래와 같이 나타내었다. h 와 δ 는 양단 전압원 사이의 크기와 위상을 나타낸다.

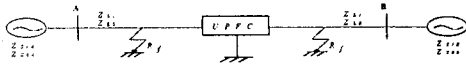


그림 2. UPFC가 연계된 등가회로

$h=0.95, \delta=9^\circ$
 Source voltage: 154 kV
 Line length : 200 km
 $Z_{S1A} = 0.5334 + j4.1126\Omega$
 $Z_{S0A} = 1.8712 + j10.096\Omega$
 $Z_{S1B} = 0.5929 + j4.9798\Omega$
 $Z_{S0B} = 2.3598 + j11.6198\Omega$
 $Z_{L1} = 0.0436 + j0.3445\Omega/\text{km}$
 $Z_{L0} = 0.2380 + j1.0443\Omega/\text{km}$

송전선로에서 UPFC 운전방식에 따른 거리계전기의 동작특성을 분석하고 데이터 베이스화 시키기 위하여 1선 지락사고를 송전계통의 95%지점에서 0%지점까지, 사고시 고장 저항값을 150 Ω 에서 0 Ω 까지 모의하여 그 결과를 검토하였다. UPFC의 설치지점은 계전기 설치지점과 선로의 중간지점에 설치한 경우이다. 여기서 UPFC의 전압 보상 크기와 위상을 변화 시켰을 경우 거리 계전기가 보는 임피던스는 표 1과 2에 나타내었다. 송전선로 중간지점에 UPFC연계시 임피던스 변화를 나타낸 표 1에서 선로에 직렬로 주입되는 전압의 크기 r 값을 0.5pu 까지 증가시켰을 경우 선로 리액턴스값은 θ 가 0° 와 90° 인 경우에는 점차 감소하는 반면, θ 가 180° 일 때는 다소 증가하는 현상이 나타났다. 이에 반해 선로 저항값은 θ 에 관계없이 감소하였다. 표 2에서는 UPFC가 계전기 설치지점에 연계된 경우 선로 리액턴스값은 선로 중간지점에 UPFC를 연계한 경우 보다 크게 변화하였고 선로 저항값은 UPFC를 선로 중간지점에 설치하였을 때와 비슷하였다.

표 1. 선로 중간지점에 UPFC연계시 임피던스 변화

r	0°		90°		180°	
	$R_p \Omega$	$X_p \Omega$	$R_p \Omega$	$X_p \Omega$	$R_p \Omega$	$X_p \Omega$
0.0	215.62	51.63	215.62	51.63	215.62	51.63
0.1	201.54	49.54	206.36	42.27	209.23	44.55
0.2	186.04	47.82	164.05	40.83	198.23	42.92
0.3	166.65	44.74	128.91	33.99	187.45	41.65
0.4	155.65	41.59	120.27	25.24	182.08	43.78
0.5	142.25	38.54	99.36	25.19	179.10	57.12

표 2. 계전기 설치지점에 UPFC연계시 임피던스 변화

r	0°		90°		180°	
	$R_p \Omega$	$X_p \Omega$	$R_p \Omega$	$X_p \Omega$	$R_p \Omega$	$X_p \Omega$
0.0	215.62	51.63	215.62	51.63	215.62	51.63
0.1	172.57	58.93	147.39	34.65	173.27	45.94
0.2	158.62	60.08	137.42	18.71	150.54	41.97
0.3	144.37	76.64	122.64	10.51	142.86	40.78
0.4	121.79	87.23	107.34	5.72	133.90	36.91
0.5	104.06	105.14	95.34	2.94	124.47	32.11

그림 3에서는 UPFC를 계통의 mid point지점에 설치 후 보상전압 크기를 최대 보상전압 크기인 0.5pu로 고

정시키고 위상각을 0° 로 운전한 경우와 연계되지 않았을 경우의 기존의 거리계전기가 보는 보호 범위를 비교하여 나타내었다. 보상전압 크기는 0.5pu 이고 위상각이 0° 로 UPFC를 운전하게 되면 그림 3에서 나타난 것처럼 UPFC가 없는 경우보다 R축으로 Underreach 한 반면 X축 Overreach는 심하게 나타났다. 따라서 먼 지점에서(95%부근) 고저항 지락사고가 발생하면 UPFC가 없는 경우에 비해 거리계전기는 Overreach할 가능성이 훨씬 많은 것을 알 수 있다. 그림 4는 같은 조건 하에 UPFC를 relay point지점에 설치하였을 경우에 계전기가 보는 임피던스 특성을 살펴보면 mid point 설치지점보다 R축과 X축이 약간씩 감소되는 경향을 보여 R축 Underreach는 더욱 감소한 반면 X축 Overreach는 더욱 심하게 나타났다. 이러한 결과에 따라 송전선로에 UPFC가 연계되면 보호협조 측면에서 거리계전기가 보는 선로의 보호구간이 상당히 달라지므로 오동작이나 부동작이 나지 않도록 계전기가 보는 임피던스 특성용 데이터 베이스화 시켜 부하 관리 시스템

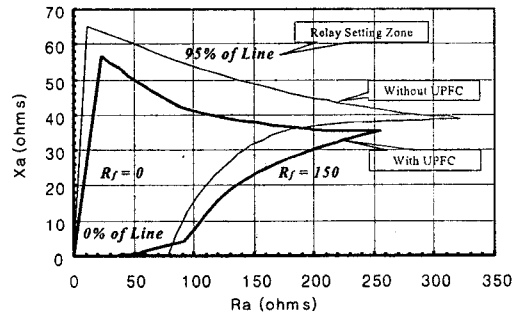


그림 3. UPFC ($r=0.5, \theta=0^\circ$)가 mid point에 있는 경우 거리계전기가 보는 임피던스 범위

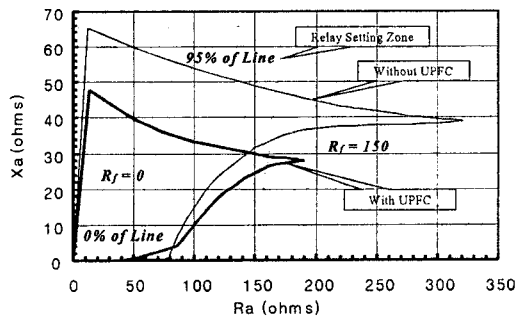


그림 4. UPFC ($r=0.5, \theta=0^\circ$)가 relay point에 있는 경우 거리계전기가 보는 임피던스 범위

4. 데이터 베이스 관리 시스템

본 연구에서 제시한 UPFC가 연계된 송전선로에서 거리계전기 정정시 오동작이나 부동작이 일어나지 않도록 계전기 trip boundary의 변화를 고려하여 기존의 데이터 베이스의 자료를 수정할 필요가 있다. 현재 구축된 계전기 정보관리 시스템인 데이터 베이스 관리 시스템의 구성은 그림 5와 같으며 입력모듈은 계전기 정정에 필요한 전력조류 계산자료, 전원임피던스 등 전력계통의 시스템 정보가 있는 모듈이며 모선이나 선로의 각종 차단기 정보 등을 가지고 있는 모듈이 배전반 입력모

들로 이루어져 있으나 본 논문에서는 UPFC 등과 같이 선로에 보상장치가 설치된 경우 보상장치의 운전조건에 따라 발생하는 오차를 데이터베이스화 하기 위해 본 논문에서 실시한 UPFC device 정보입력 모듈을 추가하였다.

기존의 데이터 베이스 관리 시스템에 새로 추가된 UPFC device 정보입력 모듈은 UPFC 제어방식에 따라 거리계전기가 보는 임피던스 특성정보를 데이터 베이스화 하고 현재의 계통 시스템정보와 배전전 정보를 조합하여 사용자가 필요로 하는 계전기 보호협조 및 정정 정보를 선택하여 출력하도록 구성할 수 있다. 즉, UPFC의 제어에 따라 기존 계전기가 받는 영향은 현재의 계통과 모선 및 선로의 차단기 상태에 따라 달라지므로 이 모듈을 고려하여 미리 계전기 받는 오차를 데이터베이스화 하여 정정시 이를 고려하면 된다. 사실 이러한 정보는 방대하므로 UPFC의 설치에 따른 별도의 계전 알고리즘이 개발되지 않는 이상 이러한 계전기 보호관리 시스템을 활용하지 않으면 안된다.

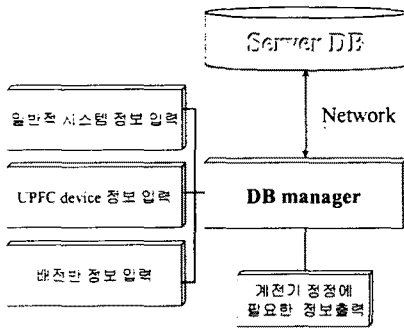


그림 5. 데이터 베이스 관리 시스템 구성도

기존의 데이터 베이스 관리 시스템에 새로 들어갈 모듈인 UPFC device 정보 입력은 UPFC 운전조건과 계통조건 그리고 고장조건으로 구성되어 있다. UPFC 입력정보에 따른 데이터 베이스 시스템의 샘플을 표 3에 나타내었다. UPFC 운전에 따라 거리계전기가 보는 임피던스의 R 과 X 의 값은 UPFC가 연계되지 않은 일반 계통에서 측정된 임피던스 값에서 UPFC가 연계된 후에 나타난 임피던스 값의 오차로서 데이터 베이스 관리 시스템 운영시 이를 고려하여야 할 것이다.

표 3. UPFC 정보입력 데이터 베이스 sample

UPFC 운전 조건						
설치지점	mid point					
r	0°		90°		180°	
변화	$R_p Q$	$X_p Q$	$R_p Q$	$X_p Q$	$R_p Q$	$X_p Q$
0.0	13.59	5.53	17.628	15.64	-11.39	-21.83
0.1	11.43	7.83	16.39	19.87	-13.83	-20.12
0.2	10.74	8.82	14.85	20.63	-15.85	-18.82
0.3	7.85	10.15	9.95	23.99	-19.45	-17.65
0.4	4.87	10.89	6.97	25.24	-19.78	-16.78
0.5	2.52	11.93	5.16	26.49	-22.15	-16.12
계통 조건						
h	0.95		δ		9°	
Line length : 200km			Source voltage: 154 kV			
고장 조건						
R_f	20 Ω					

4. 결 론

현재 활발히 연구되어 실용화 단계에 있는 UPFC기가 송전계통에 연계 되므로서 계통의 정수가 변화하여 이를 근거로 보호구간을 판단하는 거리계전기의 동작특성은 변화된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 거리계전기의 보호구간을 정정할 때 UPFC기기의 보상 특성과 설치 지점에 따른 영향을 미리 충분히 검토하여 거리계전기의 정정에 반영해야 할 필요성이 있음을 제시하였고 UPFC에 의한 보상전압의 크기와 위상을 충분히 고려한 보호 계전기 정정 결과를 체계적으로 데이터 베이스화 시켜 기존의 보호 관리 시스템을 보완하여 계통 보호 협조를 해야 할 것이다.

앞으로 UPFC뿐만 아니라 다른 FACTS기기가 연계 되더라도 보호계전기 정정시 오동작 및 부동작이 최소화 되도록 계통 보호 협조를 재구성 해야된다는 것을 나타내었다.

(참 고 문 헌)

- [1] P. K. Dash, A. K. Pradhan and A. C. Liew, "Adaptive Relay Setting for Flexible AC Transmission Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp. 38~43, 2000.
- [2] Y. L. Kang, G. B. shrestha and T. T. Lie, "Component Level Cascade Control of UPFC", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 502~507, 2000.
- [3] Chen Chaoying, Duan Xuefei and Chen Liyi, "Study of Protective Relays Behaviors in UPFC of FACTS", Advances in Power System Control, Operation and Managemet, Vol. 2, pp. 632~637, 1997.
- [4] C. F. Wagner, R. D. Evans, "Symmetrical Components", 1993.
- [5] K. K. Li, L. L. Lai, and A. K. David, "Stand Alone Intelligent Digital Distance Relay", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp. 137~142, 2000.
- [6] 서정남, 정창호, 김진오, "송전선로에 UPFC연계시 거리계전기 동작특성에 관한 연구", 하계학술대회 논문집, pp220~222, 2001.
- [7] 김지연, "보호계전 정보 관리 시스템", 하계학술대회 논문집, pp203~205, 2000.