

RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용한 UPFC(Unified Power Flow Controller) 모델링

(UPFC Modelling on RTDS)

김광수* · 이상송

(Gwang-Soo Kim · Sang-Joong Lee)

Abstract

In order for effective operation of existing power systems, introduction of the so-called FACTS(Flexible AC Transmission System) such as SVC and UPFC etc, is unavoidable. The UPFC(Unified Power Flow Controller) is composed of STATCOM(Static Compensator) and SSSC(Static Synchronous Series Compensator), and is used to control the magnitude and phase angle of injected voltage sources which are connected both in series and in parallel with the transmission line to control the power flow and bus voltages.

This paper presents a UPFC simulation on RTDS. The voltage and phase angle of a system have been analyzed by regulating the firing angle inside the UPFC.

1. 서론

송전선로 확보공간을 보다 효율적으로 사용하여 송전 용량 극대화화 및 계통안정화를 동시에 성취하기 위한 노력이 요구되고 있는데, 이를 위한 최근의 해결 방안 중의 하나가 FACTS 기술의 도입이다. FACTS기술은 최근 비약적으로 발전하고 있는 전력용 반도체 기술과 컴퓨터에 의한 고속 제어기술을 이용하고 있는데, GTO로 구성된 전압원인버터를 이용한 대표적인 FACTS 설비 중 하나가 UPFC이다.

현재 전력계통에 도입된 FACTS 설비의 예를들면,

- TCSC:Slatt Substation(BPA), 208Mvar
- STATCOM:100Mvar(TVA), SullivanS/S
- UPFC:160MVA(Shunt) and 160MVA(Series), Inez Substation(AEP)
- CSC:200MVA, Marcy Substation(NYPA)

등이 있다.

본 논문에서는 본교에 보유하고 있는 RTDS를 이용하여 병렬기기인 STATCOM(Static Compensator)과 직렬기기인 SSSC(Static Synchronous Series Compensator)의 기능을 결합시킨 UPFC의 parameter 변경에 따른 송·수전단 전압과 위상의 변화를 분석하였다.

2. RTDS

RTDS는 Full Digital 실시간 전력계통 시뮬레이

터로서 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있다. 그림 1은 본교의 시스템을 나타낸 것이다. 여기서 PSCAD는 UNIX기반의 Workstation에서 작동하는 소프트웨어이며 RTDS와 TCP/IP 통신프로토콜을 사용하여 통신한다. PSCAD는 그림2와 같이 7개의 모듈로 이루어져 있고 Script를 이용한 Auto Simulation, plot, print, analysis등이 가능하다.

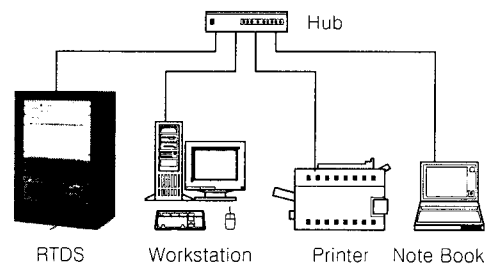


그림 1. RTDS의 하드웨어 구성

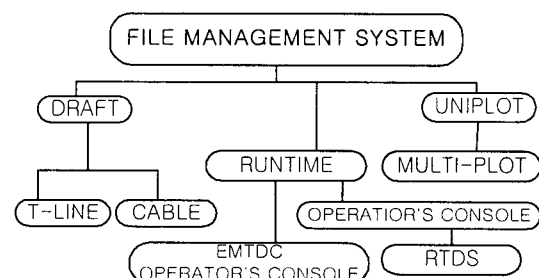


그림 2. PS-CAD 소프트웨어 모듈

3. UPFC 개념

3.1. 보상원리

1기 무한대 계통에서 θ 는 송수전 양단의 상차각을 나타낸다. 그림3은 1기 무한대계통의 벡터도와 전력상차각곡선을 나타낸 것이다. 식(1),(2)는 전력상차각 특성을 나타내는 기본식이다.

여기서 위상각, 전압, 그리고 임피던스의 조정으로 유,무효전력 조정이 가능하다

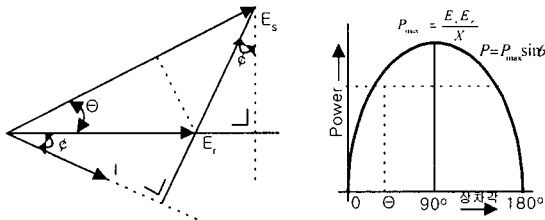


그림 3. 1기 무한계통의 벡터도 및 전력상차각 곡선

$$P = \frac{E_s \cdot E_r}{X} \sin \theta \quad (1)$$

$$Q = \frac{E_s \cdot E_r}{X} (1 - \cos \theta) \quad (2)$$

그림 4는 UPFC 시스템의 전압보상원리와 전력조류를 제어하기 위해 갖는 (a)전압 제어,(b)전압 및 선로임피던스제어,(c)전압 위상각 제어,(d)전압, 선로임피던스 및 위상각 제어를 동시에 수행이 가능하다. 이 논문에서는 전압 제어 및 전압 위상각 제어의 변화에 따른 송.수전단 전압과 위상의 변화를

확인하였다.

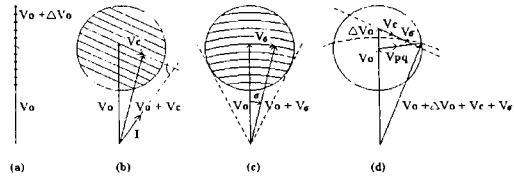


그림 4. UPFC 제어 기능

3.2. 동작특성 및 원리

UPFC 시스템의 구조는 그림5와 같이 2개의 전압원 인버터가 DC Link Capacitor를 공유해서 연결되어 있다. 왼쪽 인버터(인버터 1)는 송전선로에 병렬로 연결되어 있고, 오른쪽 인버터(인버터 2)는 기능상 송전선로에 직렬로 삽입되어 있다. 그림 5에서 DC Link Capacitor 전압 V_{dc} 의 크기를 점화각으로 조정하여 직렬인가전압의 크기 V_{pq} 를 $0 < V_{pq} < V_{pqmax}$ 범위 내에서 제어하고, 직렬 인가전압의 위상각 α_2 를 $0 < \alpha_2 < 2\pi$ 인 범위 내에서 조정하여 직렬 인가 전압 $V_{pq}(t)$ 를 생성한다. 또한, 인가 전압은 직렬로 결합된 변압기에 의해 입력단 전압 $V_o(t)$ 에 벡터적으로 합해져 출력단 전압 V_o' 를 생성한다. 선로에 병렬로 연결된 인버터 1의 주 기능은 전력계통으로부터 인버터 2에서 필요로 하는 유효전력을 DC Link Capacitor를 통해 공급하는 것이다. 인버터 1은 송전선로에 무효전력을 공급하는 STATCOM의 기능과 인버터 2의 출력전압의 크기를 제어하는 기능을 모두 갖는다. 이 모든 기능은 직렬인가 전압의 크기와 위상 변경에

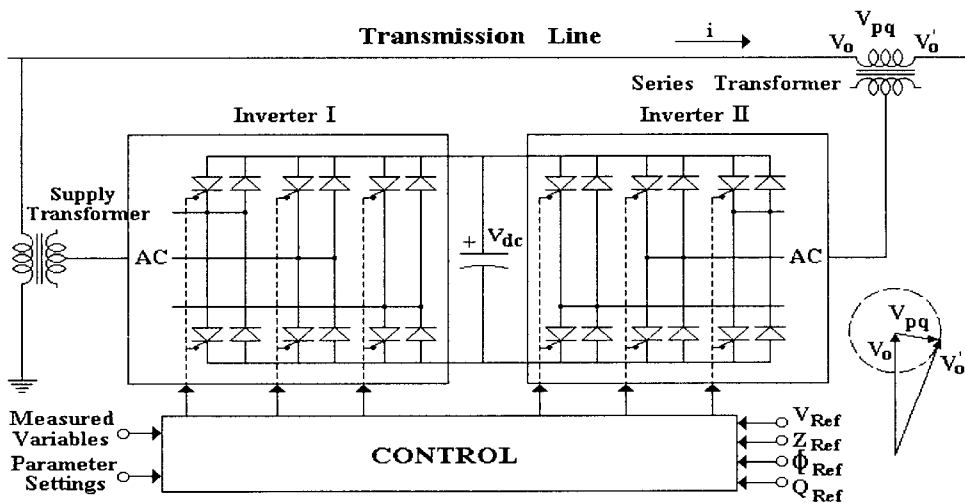
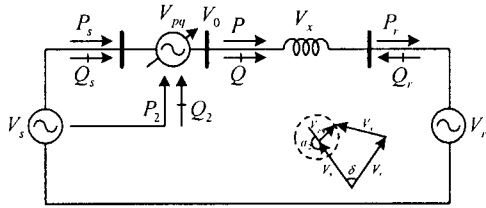


그림 5. UPFC 시스템의 구조

의해 가능하다. 전압원 인버터2는 보상전압투입에 따라 변동되는 무효전력을 공급 또는 흡수할 수 있고, DC 콘덴서를 통하여 유효전력까지 공급 또는 소비할 수 있다. 이 장치는 송전에 영향을 미치는 3가지 파라메타(위상각, 전압, 선로 임피던스)를 종합적으로 제어할 수 있다.



- 1) V_x : 송전선로 전압강하
 - 2) P, Q : 유효전력, 무효전력
 - 3) V_{pq} : UPFC 송전선로에 인가하는 전압
 - 4) δ : 송수전단 전압의 위상차
- 그림 6. UPFC를 포함한 전력계통의 등가회로

그림 6은 UPFC를 포함한 전력계통의 등가회로를 나타내며, 송전선로에 실제 인가되는 전압은 $V_s + V_{pq}$ 이고 선로에 흐르는 전류와 선로에 걸리는 전압은 직렬 인가 전압 V_{pq} 의 크기와 위상을 변경함으로써 가능하다. 직렬 인가 전압의 크기와 위상을 변경하면 결과적으로 송전단과 수신단 사이의 위상차 조절이 가능하다. 단상 등가회로에서 직렬 인가 전압 V_{pq} 의 크기를 a , 위상각을 α_2 라 하면, 직렬인가 전압은 식(3)과 같이 되어 a, α_2 는 V_{pq} 의 Control Parameter가 된다.

$$V_{pq} = ae^{j\alpha_2} = |a|(\cos \alpha_2 + j\sin \alpha_2) \quad (3)$$

3. 시뮬레이션 및 고찰

그림7은 시뮬레이션을 위한 2모선 계통으로서 전원, 부하 그리고 UPFC로 구성이 되며, V_{pq} 는 직렬주입전압을 의미한다.

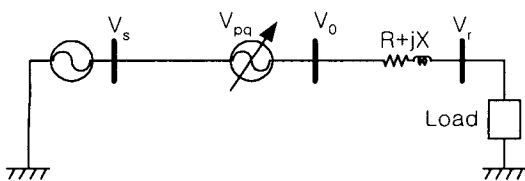


그림 7. 모델 계통도

표 1. 계통 파라메타

SOURCE			
Voltage	Impedance	Frequency	Phase
154kV	0.209+j1.095	60Hz	0.0deg
STATCOM Tr			
용량 : 300MVA, 1차 전압 : 154kV, 2차전압 : 70kV			
SSSC Tr			
용량 : 300MVA, 1차 전압 : 70kV, 2차전압 : 10kV			
Load		Line	
126-j98		4+j25	

그림 8은 그림 7을 실제 모델링 한 Draft Window나타내었다. 그림에서 왼쪽인버터는 선로와 병렬로 연결되어 있고, 오른쪽인버터는 선로와 직렬변압기를 이용하여 직렬로 연결되어 있고, 두 개의 인버터는 DC Capacitor에 의해 Link 되어있다. 송전측에는 전원, 수신측에는 간단한 부하가 접속되어있으며, 제어기로는 PLL, Firing Pulse Generator, 그리고 기타 element 가 사용되었다. 그림 9는 Run Time Window이다.

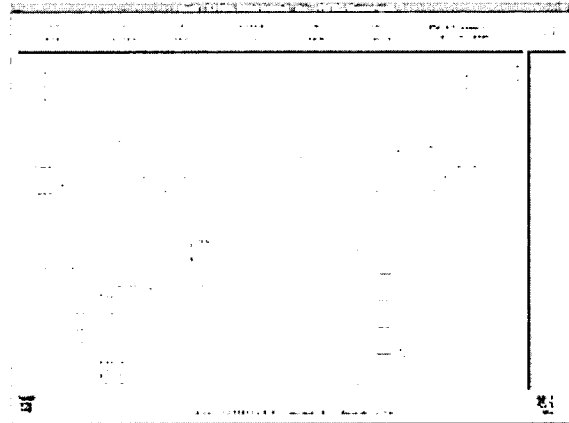


그림 8. Draft Window of PSCAD Simulation

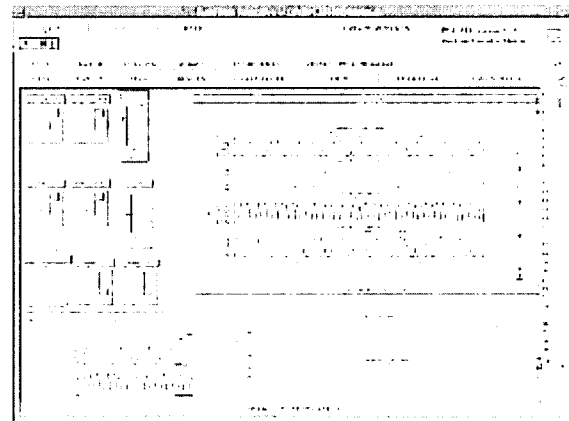


그림 9. Run Time Window of Simulation

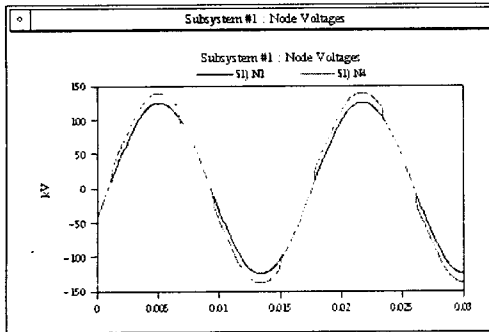


그림 10 Firing angle of the UPFC(0°)

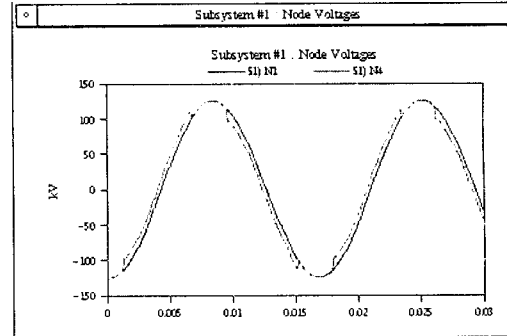


그림 14 Firing angle of the UPFC(270°)

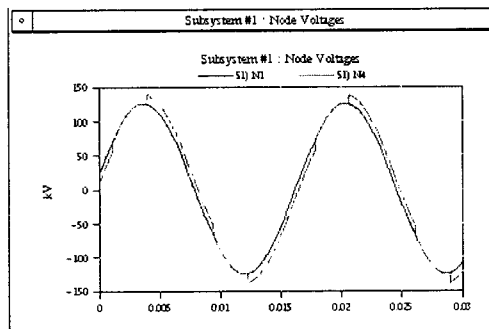


그림 11 Firing angle of the UPFC(90°)

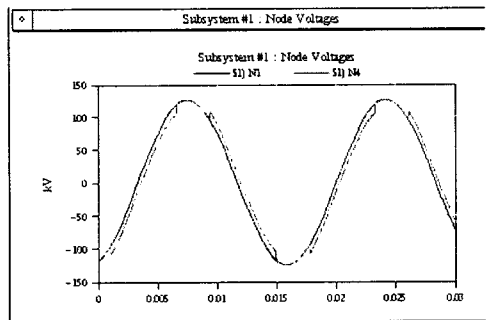


그림 12 Firing angle of the UPFC(120°)

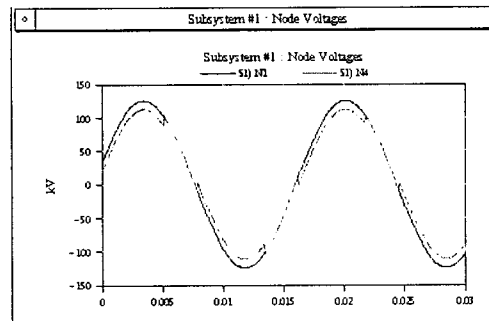


그림 13 Firing angle of the UPFC(180°)

V_{DQ} 의 주입전압의 위상을 $0^{\circ}, 90^{\circ}, 120^{\circ}, 180^{\circ}, 270^{\circ}$ 로 변화시켜가며 Simulation을 실시하여 그림 10 - 14에 나타내었다. 주입전압 90° 에서는 V_s 가 V_0 보다 위상이 앞서고, 270° 에서는 V_s 가 V_0 보다 위상이 뒤지는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 본교에 설치되어있는 실시간 디지털 시뮬레이터인 RTDS를 이용하여

- 1) STATCOM과 SSSC를 결합시킨 UPFC를 RTDS로 시뮬레이션하여 직렬주입전압의 제어에 따른 송수전단 전압의 위상변화를 확인하였다.
- 2) UPFC의 간략한 Case 만을 가정하여 Simulation을 실시하였으나 향후 다양한 UPFC의 운전 방식과 제어기를 설계하여 검증할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Abdel-Aty Edris, "FACTS technology", IEEE power engineering REVIEW, pp4-15, 2000. 3.
- [2] R.P.Wierckx, "FULLY DIGITAL REAL TIME ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS SIMULATOR", IERE, 1992. 3.
- [3] RTDS Technologies, "PSCAD/RTDS MANUAL", 1997. 10.
- [4] 송길영, "최신 송배전공학", pp321-344, 2000. 1.
- [5] Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi, "Understanding FACTS", pp297-322, 2000.
- [6] 한국전기연구소, "FACTS 계통운용 기술개발 연구", 한전연구 보고서, pp19-23, 1997. 10.
- [7] 정창호, 김신오, "UPFC가 연계된 선로에서 RTDS를 이용한 거리계전기의 동특성 시험에 관한 연구", 내한전기학회이계학술대회 논문집, pp223-225, 2001.7.18.