

EMTDC 80MVA UPFC(Unified Power Flow Controller) 해석모델 개발

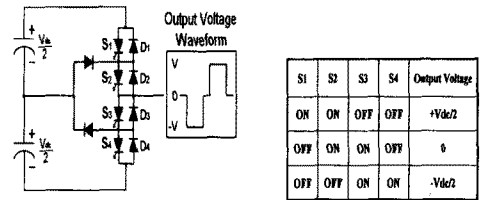
윤중수, 장병훈, 추진부, 한영성*, 유일도*
한국전력공사 전력연구원, 효성중공업*

The EMTDC model development of 80MVA UPFC

Jong-Su Yoon, Byung-Hoon Chang, Jin-Boo Choo, Young-Sung Han*, Il-Do Yoo*
Korea Electric Power Research Institute, Hyo Sung*

Abstract - 본 논문은 EMTDC/PSCAD 프로그램을 이용한 80MVA UPFC(Unified Power Flow Controller) 해석모델 개발과 2003년 실계통 적용시 적용효과에 대하여 기술하였다. UPFC는 90년대 이후 개발되고 있는 유연송전 시스템(FACTS : Flexible AC Transmission System)기기중 전압, 임피던스, 위상각등 송전선로에서의 전력조류제어를 위한 모든 파라미터를 동시에 고속으로 제어 할 수 있는 대표적인 FACTS 기기이며, 국내에도 2003년 강진 S/S에 80MVA 용량의 UPFC가 적용될 예정이다. 그러나 실계통에서의 FACTS기기 적용을 위해서는 다양한 적용 효과분석 및 충분한 신뢰도 테스트가 선행되어야 한다. 따라서 이를 위한 기기 해석모델 개발은 매우 중요하다고 할수있다. 본 논문은 국내 전력계통에 최초 적용되는 80MVA UPFC Pilot Plant에 대한 EMTDC/PSCAD 해석모델 개발결과에 대하여 기술하였다. EMTDC/PSCAD는 EMTP와 더불어 전력시스템의 과도현상 해석을 위한 신뢰성있는 프로그램이다.

154kV급 이상의 송전선로에 적용되는 대용량 전압원 인버터의 경우 현재까지는 소자의 스트레스, 전력손실, 고조파 발생측면에서 Multi-Level/Multi-Pulse방식의 인버터 구성이 실용적인것으로 알려져 있다. 강진S/S 80MVA UPFC 경우에도 3레벨 인버터를 중재변압기를 이용하여 출력파형을 합성하여 24Pulse 전압출력을 발생시키는 방식을 사용한다. 그림 1은 기본적인 3레벨 인버터와 6펄스 출력전압을 나타낸다.



1. 서 론

최근 전세계적인 전력시장의 환경변화와 가중되는 송전설비 확충의 어려움에 대한 대응수단으로 대용량 인버터 기술을 이용하여 송전계통에서 직접 전압, 임피던스, 전력조류 등을 제어할 수 있는 FACTS기기에 대한 연구가 활발하다. 이중 UPFC는 전압보상과 전력조류제어를 동시에 할 수 있는 유일한 직병렬 FACTS기기이다. 이러한 기능은 병렬 FACTS 기기인 STATCOM(Static Compensator)과 직렬 기기인 SSSC(Static Synchronous Series Controller)의 기능과 구조를 결합시킴으로 가능하게 되었는데, 두 개의 인버터 FACTS기기가 무효전력을 생성, 흡수하고 AC 계통과 DC 커패시터간의 유효전력을 교환함에 따라 송전계통의 전압, 유효 및 무효전력 조류의 연속적인 제어가 가능하도록 설계되어있다. 그러나 UPFC의 가장 중요한 기능은 직렬 인버터를 통한 유효 전력 설정치 조류 제어에 있으며, 이를 위하여 병렬인버터로부터 DC 커패시터 뱅크를 통한 유효전력 공급이 이루어진다. 또한 직렬 인버터 제어기에 적절한 보조제어기가 부가될 경우 과도 안정도 향상 및 동요억제용으로 사용될 수 있다. 현재 국내 계통에는 2003년 강진 S/S에 80MVA UPFC(병렬 인버터 40MVA, 직렬 인버터 40MVA)가 최초로 적용될 예정이다. 그러나 실제 FACTS기기의 계통 적용과 운용을 위해서는 다양한 효과 분석과 신뢰성 검증이 선행되어야 하며 이를 위한 해석모델 개발이 전제되어야 한다. 이를 위해 전력연구원을 중심으로 PSS/E 및 EMTDC를 통한 다양한 해석모델 개발 연구가 진행되어 왔다[1]. 본 논문은 이러한 연구의 일환으로 개발된 EMTDC를 이용한 Siemens제 80MVA UPFC 해석모델에 대하여 기술하였다.

그림 1 3-Level Pole을 사용한 6펄스 인버터

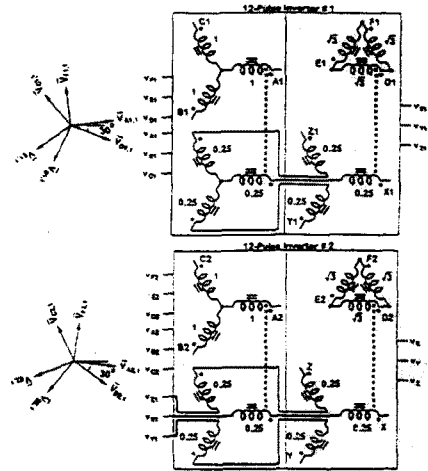


그림 2. 24펄스 Quasi Harmonic Neutralized 인버터의 중재변압기

80MVA UPFC 에서는 직/병렬축 3레벨 인버터 2대씩, 총 4대의 인버터를 사용하여 각각 24펄스 Quasi Harmonic Neutralized 인버터를 구현하는데, 24펄스 Quasi Harmonic Neutralized 인버터를 이루는 각 중재변압기의 구성도는 그림 2와 같다[2]. 이들 직병렬 인버터에 연계된 중재변압기는 24펄스합성과 고조파제거를 위하여 사용된다. 중재변압기의 출력으로 나오는 3상 전압은 기본파 성분과 $n=12k \pm 1(k=2,4,6,...)$ 차의 고조파 성

2. 본 론

2.1 80MVA UPFC 인버터 및 중재변압기의 구조

분만을 포함하고 있다. 하지만 3레벨 인버터를 이용하기 때문에 Dead angle α 에 따라서 식 (1)과 같이 고조파 성분의 크기가 변화한다.

$$V_{x,n} = \frac{2}{\pi} V_{DC} \cos\left(\frac{n\pi}{24}\right) \cos na \quad (1)$$

$n=1, 12k \pm 1 \quad (k=1,2,3,\dots)$

그러므로 Dead angle α 를 조절하여 전압의 외형률(THD)을 최소화할 수 있다.

2.2 80MVA UPFC EMTDC 모델 구성

그림 3은 EMTDC로 구성된 80MVA 강진 S/S UPFC 시뮬레이션 모델의 초기 구성화면이다. 화면의 맨위 Network 1, 2는 UPFC 설치위치인 강진S/S와 장흥S/S사이를 기점으로 구분되는 강진S/S 인근 등가계통을 포함하고 있고 화면 아래의 구성도가 직렬 변압기와 UPFC Main 블록으로 구성되는 전체 UPFC 블록도의 첫화면이다. 이 EMTDC모델은 실제 80MVA UPFC와 동작 회로 및 제어 로직에서 동일한 특성을 가지도록 구성되었고 연계 계통은 강진S/S 인근계통을 포함하는 등가계통이다. 그림 3에서 직렬 변압기 위에 회로는 직렬 인버터 바이패스를 위한 차단기(CB)와 바이패스 회로이다.

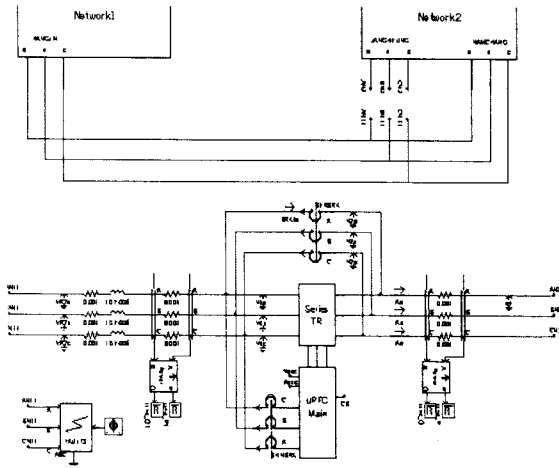


그림 3. 80MVA UPFC EMTDC 모델

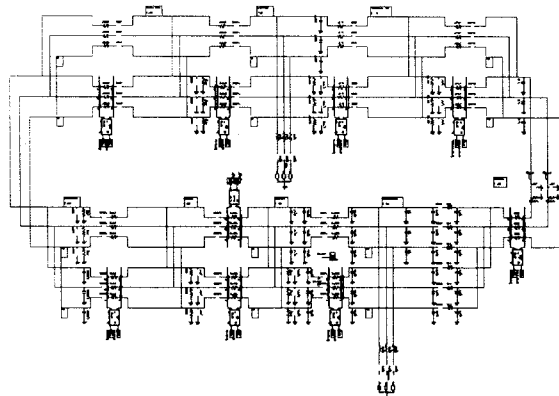


그림 4. Network 1 구성도(2003년 강진S/S 인근계통)

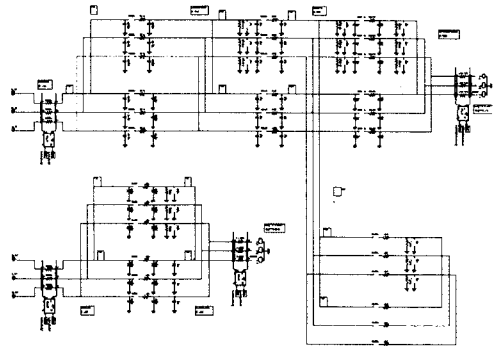


그림 5. Network 2 구성도(2003년 장흥S/S 인근계통)

2.2.2 EMTDC 모델 제어기 구성

80MVA UPFC 제어기의 직렬 인버터 제어기는 그림 6과 같은 동작영역에서의 d-q로 변환된 직렬 주입전압 V_d , V_q 설정치에 따른 인버터 점호각(α) 및 위상각(δ) 제어 로직과 그림 7과 같은 제어기에 의해 V_d , V_q 를 계산하는 유효전력 및 무효전력 조류제어기(비례-제어기)로 구성되어 있다.

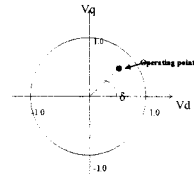


그림 6. 직렬 인버터 주입전압 설정치(d-q축)

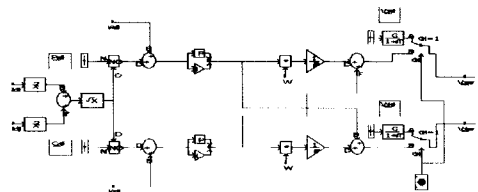


그림 7. 직렬 인버터 유효 및 무효전력 조류 제어기

병렬 인버터 제어기의 경우 고조파 저감을 위해 GTO 점호각(α)은 고정되어 있으며 위상각(δ)제어에 의해 전압제어를 실시한다. 이때 제어기의 형태는 송전선로 전압을 설정치 제어하는 정전압(Vref)제어기와 인버터의 출력을 설정치 제어하는 무효전류(Iq)제어기가 계단연계(cascade)되는 형태로 구성된다. 또한 UPFC 제어기의 모든 파라미터값은 단위법(P.U.)으로 통일되어 있어 적용 시스템에 따라 Base값만 변경시키면 제어가 가능하도록 설계되었다.

3. 모의 실험

3.1 2003년 Peak 계통에서의 적용효과 분석

표 1은 UPFC EMTDC 모델분석을 통하여 2003년 Peak 계통에서의 UPFC 설정치 제어입력과 이에 따른 직/병렬 인버터 점호각 및 위상각의 변화를 나타낸 80MVA 강진S/S UPFC 동작특성이다. 이때 병렬 제어기는 무효전류제어기(Iq), 직렬 제어기는 주입전압 설정치 제어기를 사용하였다. 병렬 인버터에서 GTO 점호각 α 는 항상 7.5° 로 고정되어 있는데 이것은 고조파 발생을 최소화하기 위함이다. 표 2, 표 3은 표 1의 각 동

작 Case별 계통응답 특성을 나타낸다. 80MVA UPFC 제어기는 단위값(P.U.)값으로 설정되어 있으므로 병렬 인버터 제어값 I_q 가 1인 경우 40MVar 인덕턴스 동작을 의미하며, -1인 경우 40Mvar의 커패시턴스 제어모드의 동작을 의미한다.

표 1. 2003년 강진S/S 80MVA UPFC 동작특성

Case	Control Command			병렬 인버터		직렬 인버터	
	I_q	Vd	Vq	α (sh)	δ (sh)	α (ser)	δ (ser)
1	1	0	0	7.5°	0.3°	180°	57.3°
2	0	0	0	7.5°	-0.75°	57.3°	180°
3	-1	0	0	7.5°	-0.6°	57.3°	-180°
4	1	0	1	7.5°	0.04°	0°	-270°
5	1	1	0	7.5°	0.04°	0°	0°
6	-1	0	1	7.5°	-0.74°	0.063	90.7°
7	-1	1	0	7.5°	0.74°	0°	-0.37°

표 2. 각 Case별 2003년 강진S/S 계통응답특성

Case	Vdc	병렬축 선간전압	T/L 전류	Sh-Inv 출력	T/L 전력조류	
	kV	kV	kA	MVA	MW	MVar
1	8.23	153.5	0.249	40(L)	13.2	4
2	9.77	158	0.2	0	9.12	20.6
3	11.34	162.6	0.183	40.6(C)	9.1	28.1
4	8.3	156.6	0.16	40.3(L)	-2.28	-36.6
5	8.13	158	0.384	40.3(L)	60.19	5.4
6	11.44	162.7	0.3	41.5(C)	-6.3	-40
7	11.28	160	0.41	41.0(C)	79.8	19

표 3. 각 Case별 직렬 인버터를 통한 주입전압 및 전력

Case	주입전압		주입 전력(P+jQ)	
	kV	θ	MW	MVar
1	0.0323	-31°	-0.00126	-j0.0003
2	0.038	150°	-0.0006	-0.0025
3	0.0467	164°	-0.001	-0.004
4	5.23	181.5°	2.57	0.14
5	5.15	262°	-0.096	3.77
6	7.21	181°	4.07	0.54
7	7.05	-86°	6.8	-0.9

다음 그림들은 80MVA UPFC를 전력조류 제어한 응답 특성이며 초기 설정값 $V_d=0$, $V_q=0$ 에서 0.3초에 직렬 인버터 전압설정치 제어를 $V_d=0.5$, $V_q=0.5$ 로 제어하고 0.5초에 다시 $V_d=-0.5$, $V_q=0.5$ 로 제어한 결과이다. 그림 8은 40MVA 병렬 인버터(STATCOM) 축 인버터 출력 P(MW), Q(MVar) 및 전압(kV)를 나타내고 그림 9는 40MVA 직렬 인버터(SSSC)의 응답특성을 나타낸다. 그림 10은 전체 80MVA UPFC로 인한 송전선로측 조류 및 전압, 전류의 특성을 나타낸다. 그림 11은 DC 커패시터 단자의 양 커패시터에 걸리는 DC전압의 크기이다. 정상상태 4.8kV에서의 변화

를 볼 수 있다.

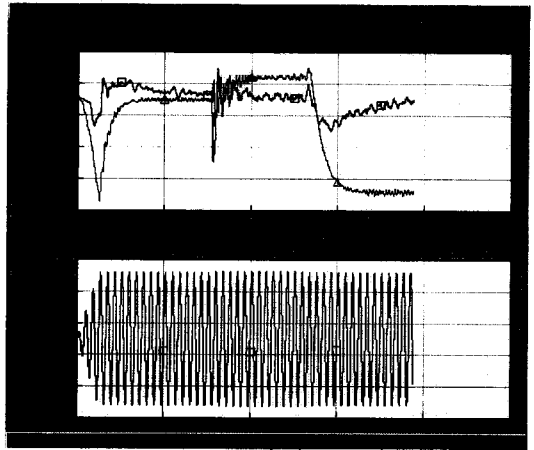


그림 8. 병렬인버터 출력 전력 및 A상 전압

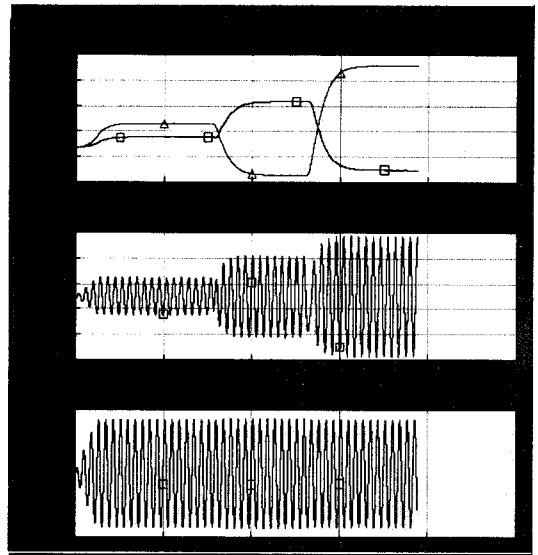


그림 9. 직렬 인버터측 출력 전력 및 A상 주입 전압

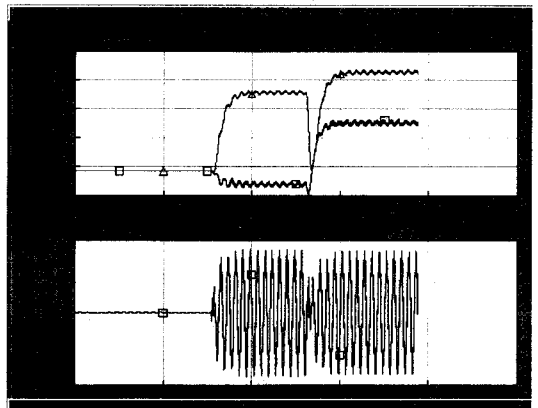


그림 10. 80MVA UPFC 송전 선로측 응답특성 (전력조류, A상 선로 전류, A상 선로 전압)

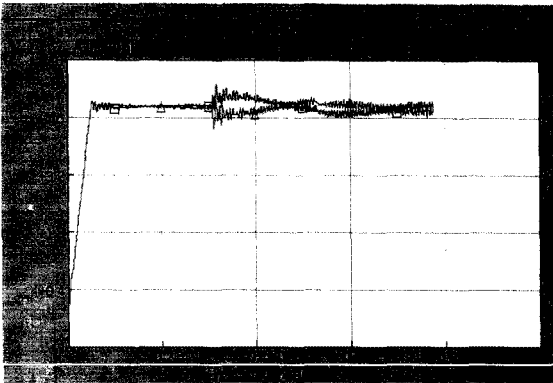


그림 11. DC 커패시터 양단의 전압

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 설치되는 80MVA Siemens UPFC와 동일한 제어특성을 가지도록 개발한 EMTDC 상세모델과 2003년 Peak 계통에서의 강진 S/S 80MVA UPFC적용 효과에 대하여 기술하였다. EMTDC 상세모델은 실제 Siemens제 UPFC와 동일한 제어로직을 적용하였고 계통모델 또한 2003년 설계용 데이터를 기반으로 제작한 강진 S/S 주변 등가계통을 사용하였다. 동일 데이터에 의한 PSS/E 해석결과 등가계통은 최대 10%미만의 오차를 가져 신뢰할 수 있는 등가 계통으로 판단하였으며 Siemens UPFC 기기 및 제어기 모델 역시 설계사양 및 실제 제어기 분석을 통한 동일한 사양과 알고리즘을 사용하여 실제 UPFC 응답특성과 유사한 결과를 나타낼것으로 판단된다. 향후 실시간 시뮬레이터(RTDS/TNA) 모델로의 전환을 통하여 보다 빠르고 정확한 시뮬레이션을 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "FACTS 계통운용기술 개발연구(II 단계 : Pilot Plant 제작, 설치) 중간보고서", 2000. 11, TM.99PC02.M2000.611
- [2] L. Gyugyi, "A unified power flow control concept for flexible AC Transmission system", IEE Proceeding, C 139(4), 1992
- [3] C. Schauder, H.Mehta, "Vector analysis and control of advanced static VAR Compensators", IEE Proceedings, Vol. 140, No. 4, July 1993
- [4] K. Kalyan, Eric J. Stacey "UPFC-Unified Power Flow Controller : Theory, Modeling, and applications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 4 October 1998
- [5] Narain G. Hingorani, Laszio Gyugyi, "Understanding FACTS", IEEE Press, 2000