

송전계통에 적용 가능한 직렬주입변압기가 없는 새로운 UPFC

한병문, 백승택, 이경빈
 명지대학교 전기공학과

A Novel UPFC for Power Transmission System without Series Injection Transformers

B. M. Han, S. T. Baek, K. B. Lee
 Dept. of Electrical Engineering, Myongji University

Abstract - 본 논문에서는 직렬주입변압기가 없는 새로운 UPFC의 시뮬레이션모형을 개발하고 그 특성을 분석한 내용에 대해 기술하고 있다. 송전계통에 적용 가능한 UPFC의 새로운 토폴로지를 제안하고 상세모형을 통하여 계통의 전력조류제어 및 과도상태시의 동특성을 시뮬레이션 한다. 전력시스템의 과도상태 및 제어에 대한 시간영역 시뮬레이션 프로그램인 EMTDC(Electro-Magnetic Transients in DC system)를 사용하여 계통의 전력조류제어인 유효전력과 무효전력의 제어를 수행하고 병렬측의 모선단 입력전압의 크기를 제어한다. 시뮬레이션 결과를 통하여 UPFC 상세모델의 제어성능을 검증한다.

본 논문에서 제안하는 직렬주입변압기가 없는 새로운 UPFC의 단상구조는 그림 1과 같다. 제안하는 UPFC는 단상 폴브리지를 직렬로 결합한 직렬보상기와 단상 반브리지가 절연변압기를 통해 직렬로 결합된 병렬보상기로 구성되어 있다. 여기서 절연변압기는 각 단상 폴브리지의 직류링크 캐패시터를 절연된 상태로 충전한다.

1. 서 론

FACTS 기기는 전력계통의 조류제어, 과도안정도증대, 공진감쇠 등에 이용 가능하기 때문에 점진적으로 그 응용이 증가하고 있다. UPFC는 전압원인버터로 구성된 궁극적인 FACTS 기기로 선로로 전송되는 유·무효전력을 독립적으로 신속히 제어 가능하다.

UPFC는 2기의 전압원인버터로 구성되어 있는데 하나는 선로와 병렬로 그리고 다른 하나는 선로와 직렬로 결합되어 선로로 전송되는 전력조류를 연속 제어하는 기능을 갖는다. 그러나 현재 운용 중인 보상기는 단일소자의 내압이 송전계통 운용전압에 비해 상당히 낮으므로 직렬과 병렬 측 모두에 강압변압기를 사용하여 각 인버터 입력단의 전압을 적절히 조절한다. 또한 변압기의 강압비를 저하하기 위해 인버터의 각 스위치는 몇 개의 GTO 소자를 직렬로 연결하여 인버터를 구성하나 직렬로 연결이 가능한 소자의 수에도 제약이 있어 강압용 변압기의 사용은 필수적이다.

강압변압기와 소자의 직렬연결을 사용하는 대신 단일소자로 구성된 단상폴브리지를 직렬로 결합하여 병렬보상기를 구성하는 연구가 미국의 Peng[1,2]에 의해 제안되었다. 이 연구에서는 한 상당 5개의 단상폴브리지로 구성된 Y 결선 병렬보상기에 대해 동작특성을 분석하였다. Patil[3]은 동일한 구조의 토폴로지에 각 폴브리지가 형성하는 펄스형태가 Peng이 제안한 것과 다른 형태로 동작하는 병렬보상기를 제안하였다. 그러나 Peng과 Patil 모두 이러한 토폴로지를 직렬보상기에 적용하고 그 동작특성을 분석하지는 않았다. 병렬보상기는 모선에 결합되므로 모선전압이 높아 결합변압기의 강압비가 크나 직렬보상기는 2 모선을 연결하는 선로 양단에 걸리는 전압을 보상하므로 결합변압기의 강압비가 작다. 이러한 연구결과를 바탕으로 본 논문에서는 직렬주입변압기 없는 UPFC의 새로운 토폴로지를 제안하고 그 동작과 성능을 시뮬레이션으로 검증하여 하드웨어 개발에 활용 가능한 기본기술을 확보할 수 있다.

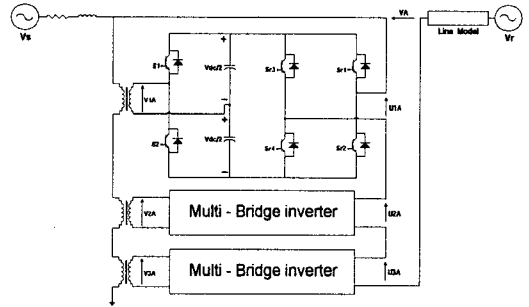


그림 1. 제안하는 UPFC의 단상 회로도

그림 2는 UPFC의 병렬과 직렬측 인버터의 PWM 게이트 펄스 발생원리를 나타낸 것이다.

그림 2(a)는 그림 1의 병렬측 반브리지 인버터의 게이트 펄스를 만들기 위한 캐리어와 기준 신호를 보여준다. 캐리어 T1, T2, T3의 주파수는 480(Hz)이며, 세 개의 캐리어는 각각 120°의 위상차를 가지고 있다. 그리고 기준 신호 V_{ref} 의 주파수는 60(Hz)인 정현파이다. 그림 2(b)는 그림 2(a)의 신호를 가지고 어떻게 Gate 펄스를 만드는 가를 나타낸다. 그림 2(b)의 원리에 의해 생성된 반브리지 인버터의 출력전압 V1A, V2A, V3A는 절연변압기를 통해 합성된다. 다른 상의 인버터 게이트 펄스는 그림 2(a)의 기준신호가 120°의 위상차가 있는 정현파로 바뀌는 것만 빼고 모두 동일하다.

그림 2(c)는 직렬측 폴브리지 인버터의 게이트 펄스를 만들기 위한 캐리어와 기준 신호를 보여준다. 캐리어 TS1~TS6의 주파수는 480(Hz)이며, 인버터 하나의 게이트 펄스를 생성하기 위해서 180°의 위상차를 가지는 두 개의 캐리어와 정현파의 기준신호 V_{ref1} 을 비교한다. 다른 상의 인버터 게이트 펄스 역시 병렬측과 동일한 방식으로 기준신호만 바뀌어서 생성이 된다.

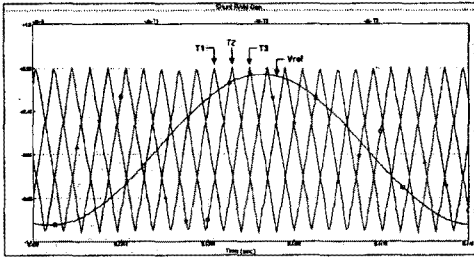
최종적으로 직렬측 다중브리지인버터가 PWM 동작을 해서 선로로 주입하는 전압 VA는 캐리어 주파수가 480(Hz)이고 총 6개의 캐리어가 존재하므로 약 3(KHz)의 스위칭 효과가 나타난다.

2.2 UPFC 제어기

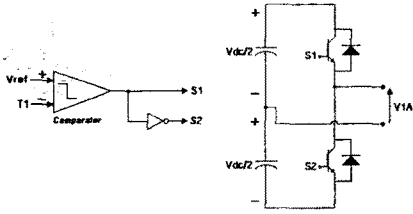
선로의 전력조류를 신속히 제어하기 위한 UPFC의 제어기를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 병렬측 인버터의 제어기를 나타내었다. 병렬측 인버터는 무효전력 제어와 자동전압제어를 수행하도록 제어한다. 또한 병렬

2. 본 론

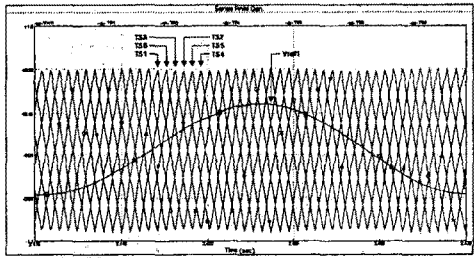
2.1 새로운 UPFC



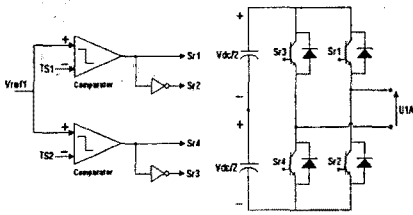
(a) 캐리어와 기준신호(병렬측)



(b) 게이트 펄스 생성 방법(병렬측)



(c) 캐리어와 기준신호(직렬측)



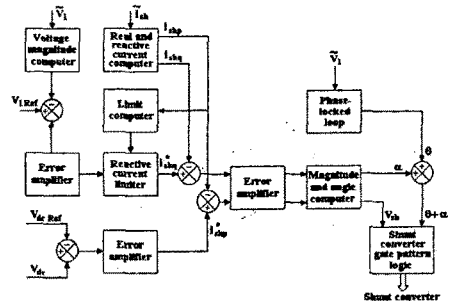
(d) 게이트 펄스 생성 방법(직렬측)

그림 2. 게이트 펄스 생성 원리

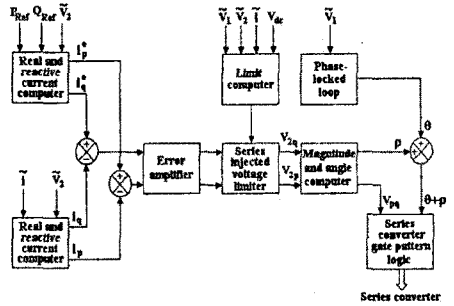
인버터의 주 제어는 직렬인버터가 선로에 유효전력을 주입할 수 있도록 직류전압을 일정하게 제어하는 것이다. 본 논문에서는 무효전력제어와 자동전압제어를 수행하도록 하였다. 그림 3(b)는 직렬측 인버터의 제어를 나타낸 것이다. 직렬인버터는 선로에 주입되는 전압의 크기와 위상을 제어하므로써 선로의 전력조류를 제어한다. 따라서 전력시스템의 변화에 상관없이 요구되는 유효전력과 무효전력을 유지하도록 자동으로 그리고 연속적으로 전력조류를 제어한다.

2.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 UPFC의 동작과 성능을 검증하기 위해서 시뮬레이션을 실시하였다. 임의의 전력계통에서 두 점을 선택하여 하나는 송전단으로 다른 하나는 수전단으로 가정하였다. 그림 4는 UPFC의 시뮬레이션



(a) 병렬측 제어기



(b) 직렬측 제어기

그림 3. UPFC 제어기

모델을 나타낸 것이다. 표 1은 시뮬레이션 회로정수를 나타낸 것이다.

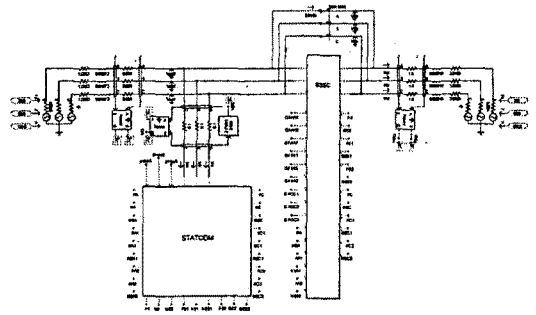


그림 4. UPFC 시뮬레이션 모델

그림 5는 제안하는 UPFC의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. UPFC의 동특성을 검증하기 위해서 표 2에 나타낸 시나리오로 시뮬레이션을 실시하였다.

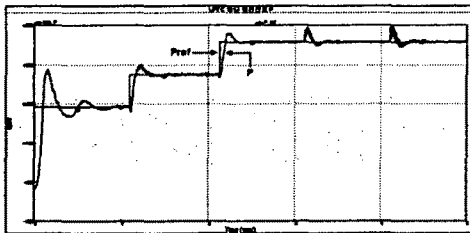
표 1. 시뮬레이션 회로정수

Base 전압	112.676[kV]
Base 전류	946[A]
송·수전단 전압	138(kV)
위상각	20°
인버터 용량	160[MVA]

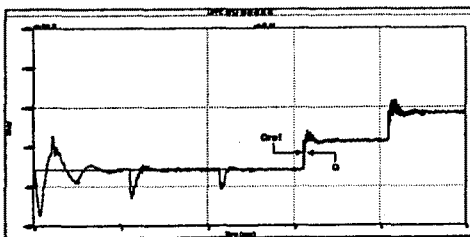
표 2. 시뮬레이션 시나리오

시간(sec)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
Vref(p.u.)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pref(MW)	250	350	450	450	450
Qref(MVar)	0	0	0	50	100

그림 5(a)와(b)는 표 2에 나타난 시뮬레이션 시나리오에 의해서 계통의 전력 조류 P, Q가 지령치에 의해 변화되는 것을 나타낸 것이다. UPFC는 지령치인 Pref와 Qref에 의해서 직렬인버터의 선로 주입전압을 자동으로 조절함으로써 계통의 조류를 제어하고 있음을 알 수 있다. 그림 10(c)는 UPFC가 연결되어 있는 계통의 전단과 후단의 유효전력 P와 무효전력 Q를 나타낸 것이다. 직렬인버터의 주입전압에 의해서 P와 Q가 변화하는 것을 볼 수 있다. 지령치인 Pref와 Qref에 의해서 선로의 유효전력과 무효전력이 잘 추종하고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 10(d)는 병렬인버터가 자동전압제어를 수행하고 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 10(e)에 나타난 병렬인버터의 주입 유효전력의 변화에 의해서 모선단 전압이 기준치를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 그림 10(f)는 선로전류를 나타낸 것이다. UPFC가 계통의 전력조류를 제어하므로써 선로전류가 변화하는 것을 알 수 있다.



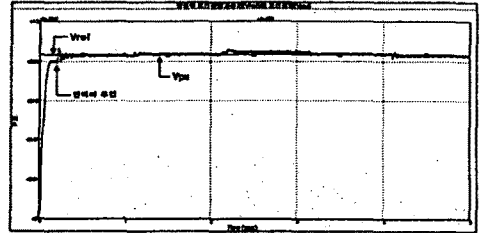
(a) 유효전력 기준치(Pref)와 선로 유효전력(P)



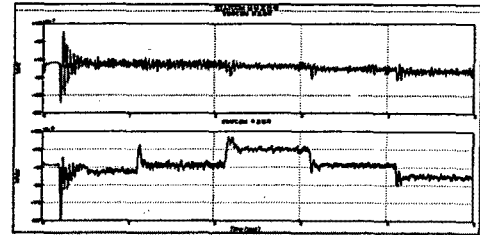
(b) 무효전력 기준치(Qref)와 선로 무효전력(Q)



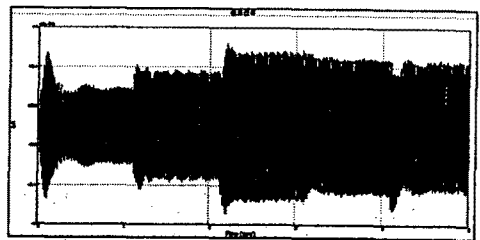
(c) UPFC 전·후단 선로 P와 Q



(d) 모선전압 기준치(Vref)와 모선전압(Vpu)



(e) 병렬인버터의 유·무효전력



(f) 선로전류

그림 5. UPFC 시뮬레이션 결과

3. 결 론

본 논문에서는 직렬주입변압기가 없는 새로운 UPFC의 토폴로지를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 시스템의 동특성을 검증하였다. 제안하는 UPFC는 직렬주입변압기가 없기 때문에 시스템 규모가 작고 가격이 저렴하며 송전전압에 따라 이에 적합하도록 브리지의 수를 가감하여 융통성 있는 시스템 운용이 가능하다는 장점이 있다. 본 논문의 결과를 토대로 실 규모의 시스템 개발에 활용 가능한 기본기술을 확보할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. Z. Peng and J. S. Lai, "A Multilevel Voltage-Source Inverter with Separate DC Sources for Static Var Generation," IEEE/IAS Annual Meeting, pp. 2541-2548, Orlando, FL, Oct. 8-12, 1995.
- [2] F. Z. Peng and J. S. Lai, "Dynamic performance and control of a static var compensator using cascade multilevel inverter," IEEE/IAS Annual Meeting, pp. 1009-1015, San Diego, CA, Oct. 6-10, 1996.
- [3] K. V. Patil, R. M. Mathur, J. Jiang, S. H. Hossaini, "Distribution System Compensation using a new Binary Multilevel Voltage Source Inverter", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 2, April, 1999.
- [4] 한병문의 4인, "다중브리지 인버터로 구성된 SSSC의 성능 해석", 전력전자학회지, 5권, 3호, 2000년 6월.
- [5] 한병문의 4인, "사물레이선과 축소모형에 의한 UPFC의 성능 해석", 대한전기학회지, 48B권, 10호, 1999년 10월.