

# 유연송전 시스템을 위한 1MVA 배전용 동기 조상기

문건우\* 윤석호 박용배 윤종수 추진부  
 한전전력연구원 전력계통연구실 차세대전력전송그룹

## 1MVA Distribution-STATCON for Flexible AC Transmission System (FACTS)

Gun-Woo Moon\* Suk-Ho Yoon Yong-Bae Park Jong-Soo Yoon Jin-Boo Choo  
 FACTS Group Electrical System Research Lab. KEPRI

Abstract - The availability of high power IGBT has led to development of controllable reactive power and harmonics compensation source for use in power transmission system. The paper describes the fundamental operating principles and several application examples. The control technique of reactive power and harmonics compensation for Distribution STATCON is presented, and the computer simulation results are shown to show the effectiveness of the proposed control technique.

"Clean Power"의 슬로건을 걸고 사용자 전원 뿐만 아니라 배전계통의 Custom Power에 많은 연구를 하고 있다. 그 예로 1-12MVA급 배전용 STATCON(Static Condenser), DVR(Dynamic Voltage Restorer), SSB(Solid-State Breaker)등을 개발하여 무효전력보상, 고조파 저감, 순간정전 보상 및 전압 고조파 보상에 대한 투자가 있다. 유럽의 지멘스와 같은 회사는 대용량 전력변환 장치 개발의 높은 기술 수준을 바탕으로 IGBT를 사용한 대용량 인버터 또는 파워 스택을 소형화시켜 제작 시판하고 있으며 특히 IGBT 소자의 직병렬 구동기술을 보유하고 있다.

### 1. 서론

모든 산업이 고도화되고 국민생활의 향상에 따라 첨단 제어장치, 전력변환기기의 광범위한 이용으로 비선형 특성을 갖는 부하가 급증하여 전원파형을 왜곡시키므로서 고조파 문제, 역률저하는 물론, 전력기기의 상호교란, 온도상승 등 많은 문제들이 발생되고 있다. 이러한 고조파문제를 해결하기 위하여 기술선진국인 미국 및 유럽의 경우는 고조파 관련 규격(EN61000, IEC555, IEEE519)을 제정하여 고조파에 대한 규제를 강화하고 있으며 이에 따라 능동필터에 대한 연구는 이론적인 측면에서 치중하여 고조파 시뮬레이터 등을 개발 상품화하고 있으나 능동필터의 개발은 소홀히 하고 있다. 그러나 최근 고조파의 발생원인이 전력변환장치 관련 기술자들의 책임론이 거론되는 등 능동필터의 개발에 주력하여 300-500kVA급 능동필터를 상품화하여 시판하고 있다. 또한 미국의 웨스팅하우스등 전력변환기술을 보유하고 있는 기업들은

### 2. 배전용 STATCON

배전용 정지형 동기조상기(Distribution Static Condenser, DSTATCON)는 공냉식 전압원 인버터로 구성된 DC/AC 스위칭 파워 컨버터이다. 기본적으로 배전용 정지형 동기조상기는 계통내 모선 전압과 동상(in-phase)으로 전압을 인가하여 전압변동을 억제하고 무효전력(VAR) 흐름을 조정한다. 배전용 정지형 동기조상기는 동기파형(Synchronous Waveform)을 생성하므로 DSTATCON의 최대 MVA 정격까지 연속적으로 가변 유도성 및 용량성 병렬 보상이 가능하다. 최근 DSTATCON은 배전선로의 고조파를 감쇠시키는 역할로도 사용한다. 고조파 펄스폭변조 방식(Pulse Width Modulation, PWM)으로 동작하는 인버터를 이용하여 비선형 부하에 의하여 발생하는 전류고조파 성분을 상쇄시

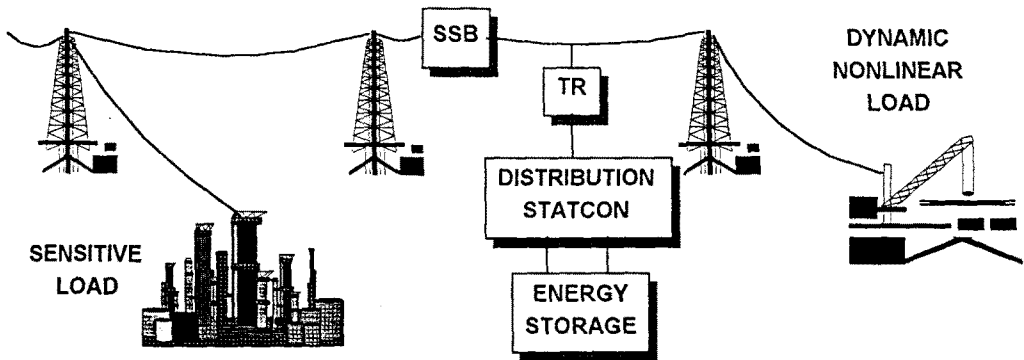


그림 1 배전 시스템의 FACTS 기기

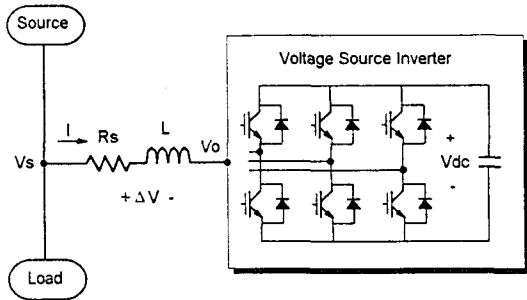


그림 2 배전용 STATCON의 전체 회로도000

는 전류파형을 인가하여 고조파성분을 감소시킨다. 또한 Solid-State Breaker(SSB)와 에너지 저장장치 시스템과 결합하여 DSTATCON은 Critical Load에 대한 전압공급이 가능하다. 전원의 disturbance나 feeder breaker가 동작하는 경우에 에너지저장 장치로부터 DSTATCON은 부하에 에너지를 공급한다. 이때의 에너지를 공급해야 하는 부하는 인버터의 MVA 용량에 의해 결정되고 D-STATCON이 에너지를 공급하는 시간은 에너지저장 장치의 용량에 따라 결정된다. 일반적으로 D-STATCON은 1MVA 모듈을 기본으로 1-10MVA 용량까지 사용이 가능하며 전력전자장비, 결합 변압기 및 분리스위치를 실내 또는 실외에 설치 가능하다. 특별한 경우 Trailer에 장착하여 이동이 용이하게 사용하는 것이 가능하다. 이러한 기능을 그림 1에 도시하였다.

### 3. 무효전력 및 고조파 보상 제어 알고리즘

D-STATCON의 dq축상 전류는 다음과 같이 되어야 무효전력 및 고조파 보상이 가능하다.

$$i_{c\alpha} = i_{L\alpha} - i_{s\alpha} = i_{L\alpha} - \bar{i}_{L\alpha}$$

$$i_{c\beta} = i_{L\beta} - i_{s\beta} = i_{L\beta}$$

따라서 그림 3에 보인 것과 같이 D-STATCON의 제어부에서는 부하에 흐르는 전류를 검출하여 그 유효성분과 무효성분, 즉 dq축상의 전류를 검출해 내고 여기서 기본파 성분을 전원전류의 기준치로 하여 부하전류와 전원전류의 기준치 간의 차이로부터 능동필터가 주입하여야 할 전류를 추출한다. DC 링크 커패시터전압이 적절한 값으로 유지하기 위해서는 D-STATCON 내의 자체 손실분에 해당하는 만큼의 전력이 전원측으로부터 공급될 필요

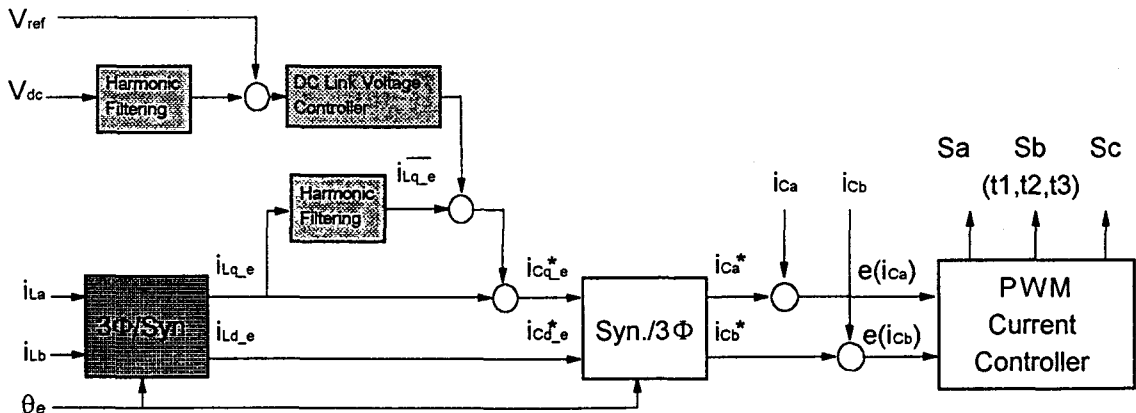


그림 3 배전용 STATCON의 무효전력/고조파 보상 제어 회로도000

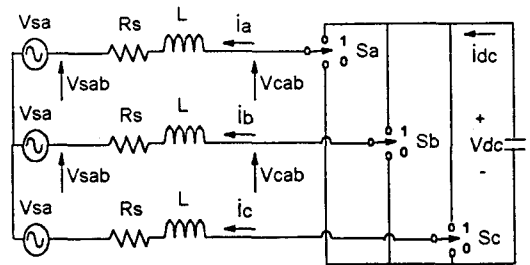


그림 4 배전용 STATCON 전압원 인버터회로도

가 있다.

그림 4와 같이 교류측 인덕터 용량은 모두 같고 인덕터 내의 저항성분을 무시할 수 있을 정도로 작다고 하면 순간 전압의 전압방정식을 얻을 수 있다.

$$V_{s\alpha b} = -L \frac{di_a}{dt} + V_{c\alpha b} = (S_a - S_b) V_{dc} + L \frac{di_b}{dt}$$

$$V_{s\beta c} = -L \frac{di_b}{dt} + V_{c\beta c} = (S_b - S_c) V_{dc} + L \frac{di_c}{dt}$$

윗식을 정리하면 전류 및 전압에 대한 미분방정식은 다음과 같다.

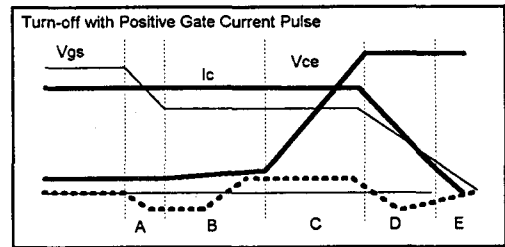
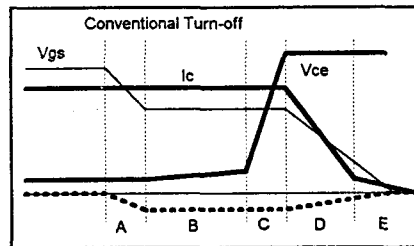


그림 5 IGBT 소자 직렬구동 기법 000

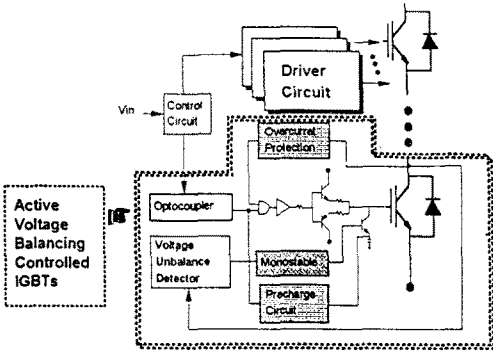


그림 6 IGBT 소자 직렬구동 회로 블록도

$$C \frac{dV_{dc}}{dt} = (S_c - S_a)i_a + (S_c - S_b)i_b$$

$$\frac{di_b}{dt} = \frac{1}{3L} [(V_{S_{ab}} - V_{S_{bc}}) - (S_a - 2S_b + S_c)V_{dc}]$$

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{3L} [(V_{S_{ca}} - V_{S_{ab}}) - (-2S_a + S_b + S_c)V_{dc}]$$

여기서 인버터의 각 상에 대해 스위칭 함수는 다음과 같다.

$$S_a, S_b, S_c = \begin{cases} 0 & \text{for negative leg ON} \\ 1 & \text{for positive leg ON} \end{cases}$$

그림 7-8에서 제안된 제어기법을 사용하여 용량성 부하와 유도성 부하가 고조파(20% 5차고조파, 5% 7차 고조파)를 나타냈을 때의 응답파형을 보인다. 그림에서 보듯이 무효전력을 충분히 보상하고 5, 7차 고조파를 상당부분 제거함을 알 수 있다. D-STATCON의 성능을 좌우하는 요소는 전류제어기의 성능 및 인버터의 캐피터 전압의 크기이다. 캐피터 전압의 크기가 작으면 응답특성이 느려져 전류명령을 제대로 추종하지 못한다. 반면 전압의 크기가 크면 응답특성은 빠르도 우수하나 전류리플이 증가하고 소자의 전압 Stress가 증가한다. 또한 고조파 제거용 필터도 상당한 영향을 주므로 FFT를 이용한 이산필터를 사용하는 것이 바람직하다.

#### 4. IGBT 소자 직렬 구동 기법

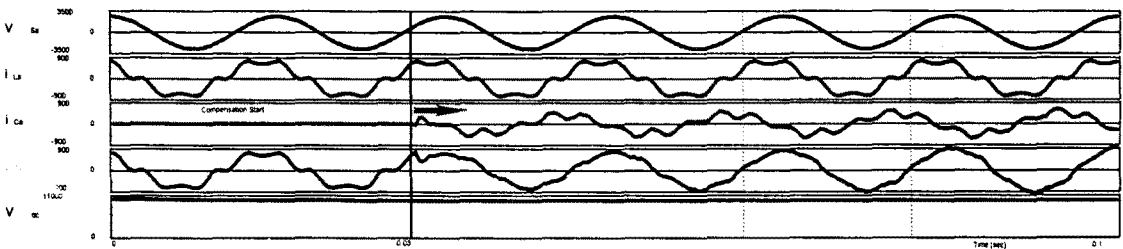


그림 7 D-STATCON 동작파형(용량성 부하)X10

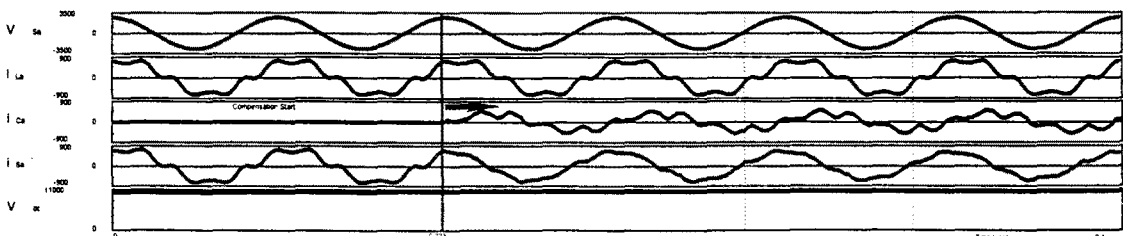


그림 8 D-STATCON 동작파형(유도성 부하)X10

배전용 STATCON은 소자를 직렬로 6-10개를 접속하여 사용하므로 소자 특성상 또는 주변 기생요소나 구동신호의 불평형 등으로 인하여 빠른 특성을 지닌 소자에 전압원 인버터의 캐피터 전압이 모두 인가되므로 소자 파괴가 발생한다. IGBT 소자의 일반적인 Turn-off 특성을 그림 5에 나타내었다. 영역 A에서 게이트 전압은 입력캐피터에 의해 결정되는 기울기로 감소하다 영역 B부터 일정한 전압을 나타낸다. 이는 MOSFET의 Drain 전압의 감소로 밀리효과가 발생하여 입력 캐피터 전압이 무한대로 나타나기 때문이다. 이러한 밀리효과가 나타나는 영역에서 큰 기울기로 증가하는 스위치 양단전압을 양의 게이트 구동전류를 흘려줌으로써 그 기울기를 감소시킬 수 있다. 따라서 그림 6에서 보듯이 각각의 소자 양단전압을 제한시켜 소자의 전압 불평형을 능동적인 방법으로 제어하는 것이 대용량 인버터에서 핵심적인 기술이다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 배전용 STATCON의 기본적인 동작원리 및 무효전력 및 고조파 보상 제어기법을 제안하였다. 제안된 제어기법은 시뮬레이션을 통하여 유용성을 입증하였으며 IGBT 소자 직렬구동기법에 대한 기술적인 요약하였다. 앞으로 이런 배전용 STATCON의 기술은 배전계통 뿐만 아니라 대형 공장과 같은 고조파를 발생시키는 산업체에 고조파 및 무효전력 보상용으로 다양한 적용이 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] "FACTS EPRI Workshop", 1992.
- [2] "Elimination of Supply Harmonics", IEEE Industrial Application Magazine, Vol. 3, No. 2, March, 1997, pp. 62-67.
- [3] K.M. Abbott " Modeling and Simulation of Static VAR Compensator for Control", EPE Conference 95, pp. 2.088-2.093.