

# 하이브리드 무효전력 보상장치에 관한 연구

송광석\*, 박성미\*\*, 박성준\*  
전남대\*, 한국승강기대\*\*

## A Study on the Hybrid Reactive Power Compensator

Kwang-Suk Song\*, Seong-Mi Park\*\*, Sung - Jun Park\*  
Chonnam National University\*, Korea Lift College\*\*

### ABSTRACT

신재생에너지의 보급 확산과 전력수요의 증가에 따라 전력 계통이 분산화되는 추세이며 이에 따라 배전계통의 안정화를 위한 전력계통 안정화 장치(Power System Stabilizer)로 그 사용이 확대되고 있는 추세이다. 따라서 대표적인 전력계통 안정화 장치인 정지형 무효전력보상장치(SVC: Staic Var Compensator)에 대한 다양한 토폴로지로 개발되고 있다. 또한 기술의 트렌드는 SVC에서 Statcom 기술 개발로 이어지고 있다. 최근 Statcom의 변환손실 및 경제적 단점을 극복하기 위해 Statcom과 SVC를 병렬로 사용하는 Hybrid 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 SVC 기능에서 TCC(Thyristor Controlled Capacitor)방식에서 문제가 되는 돌입전류 제한을 위한 새로운 Soft Step Switching 방식을 제안한다. 또한 Statcom의 용량을 줄이기 위해 SVC용 무효전력 보상 리액터 및 콘덴서 군을 설계하였다.

### 1. 서론

최근 시스템 단가저감과 효율향상을 위해 Statcom 방식과 SVC 방식을 병렬로 사용하는 하이브리드 방식에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. SVC 시스템에서 TSC 동작은 계통에 병렬로 접속되는 전력용 콘덴서는 여러 군으로 나누어진 뱅크 형태이며, Thyristor 스위치를 사용하여 계통에 투입, 차단하게 된다. 이 방식은 그 구성 및 제어가 간단하여 계통이나 영구자석 발전기의 무효전력 보상기로 사용함으로 전압 저하를 방지하는 곳에 많이 사용되고 있다. 그러나 TSC 보상장치는 Thyristor 스위치를 온 할 시 돌입전류를 제한 회로가 필수적이다. 이러한 돌입전류 방지를 위해 적은 Reactor나 억제저항을 직렬로 구성하는 것이 일반적이다. 그러나 돌입전류 제한을 위해 추가한 Reactor나 억제저항은 공진을 형성한다던지 시스템 효율을 저감시키는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 TSC 동작시 돌입전류를 제한하기 위한 새로운 Soft Step Switching 방식을 제안한다. [1] [3]

### 2. 하이브리드 무효전력보상장치

#### 2.1 무효전력보상장치의 특성분석

그림 1은 하이브리드 무효전력보상장치의 시스템 구성도를 나타내고 있다.

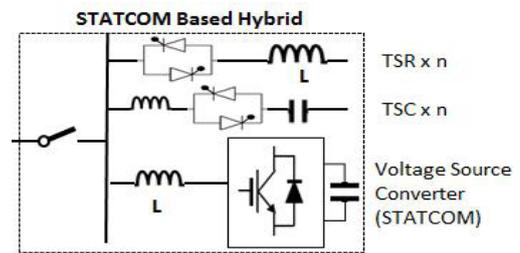


그림 1 하이브리드 무효전력보상장치  
Fig. 1 Hybrid reactive power compensation device

그림 1에서 알 수 있듯이 하이브리드 무효전력보상장치는 Statcom, TSR, TSC의 3 종류의 무효전력 제어기가 융합된 형식으로 TSR/TSC의 병렬 사용에 의해 무효전력 보상장치의 시스템 손실이 감소되며, Statcom 대비 소형인 TSR/TSC의 통합에 의한 사이즈 소형화가 가능하다.

#### 2.2 제안된 TSC 구성 및 스위칭방식

그림 2는 콘덴서 뱅크형 무효전력 보상장치에서 전류제한을 위해 소용량의 Reactor를 직렬로 추가하거나, 돌입전류 억제저항의 추가 없이 안전하게 전력용 콘덴서의 투입 및 제거할 수 있는 새로운 토폴로지를 제안한다.

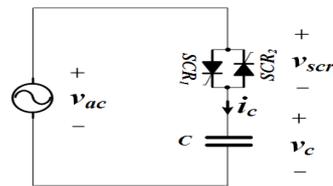


그림 2 TSC configuration for phase compensation  
Fig. 2 전상보상용 TSC 구성

그림 3은 그림 2의 콘덴서 뱅크형 무효전력 보상장치에서 Soft Step Switching을 행하기 위한 스위치 발생 원리이다. 콘덴서 뱅크를 투입할 경우 콘덴서의 전압 극성을 판단하고 정극의 전압인 경우 전원전압이 정극 구간시작 점에서부터 SCR1의 게이트 신호를 트리거하고 SCR2는 90도 지연 후 트리거하며, 부극의 전압인 경우 전원전압이 부극 구간시작 점에서부터 SCR2의 게이트 신호를 트리거하고 SCR1은 90도 지연 후 트리거한다. 이러한 트

리거 신호에 의해 콘덴서의 도통은 전원전압과 콘덴서 전압이 같은 시점에서 SCR이 점호됨으로 SCR점호 시 돌입전류를 제한할 수 있다.

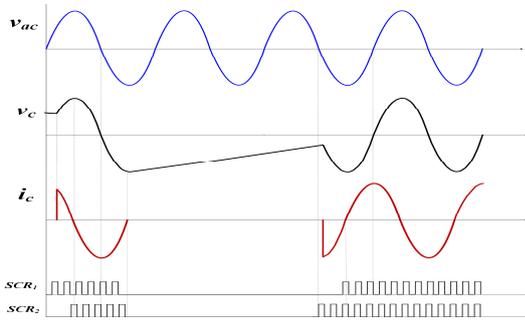
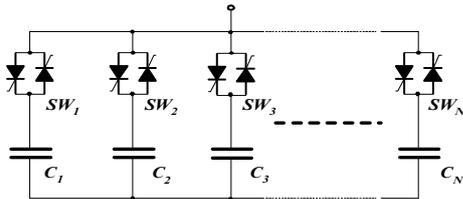
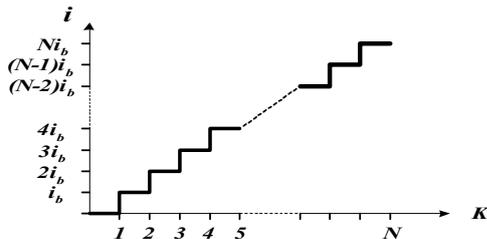


그림 3 제안된 스위칭 방식  
Fig. 3 The proposed switching scheme

그림 4에서 다양한 크기의 무효전류를 보상하기 위해서는 다양한 콘덴서의 용량이 필요하나, 현실적으로 구현이 어려움으로 여러 개의 콘덴서 군을 형성하여 사용하게 된다. 그림 7은 여러 개의 콘덴서를 병렬로 연결하고 있어 N개의 콘덴서를 병렬 연결 시의 경우는 투입되는 정전용량은 0, 1, 2 ... N배의 개별 콘덴서 정전용량과 같게 된다. 즉 N 단계 가변 가능하므로 무효전력 제어가 가능하다.



(a) 가변 콘덴서구성



(b) 콘덴서 군의 결합에 따른 용량 특성

그림 4. 무효전력 보상용 가변 콘덴서구성  
Fig. 4 Variable capacitor configuration for reactive power compensation

하이브리드 무효전력보상장치에서는 Statcom을 TSC의 불연속 전류 레벨보다 큰 용량을 장착할 경우 연속적인 무효전력 제어가 가능하게 된다.

### 3. 시뮬레이션 결과

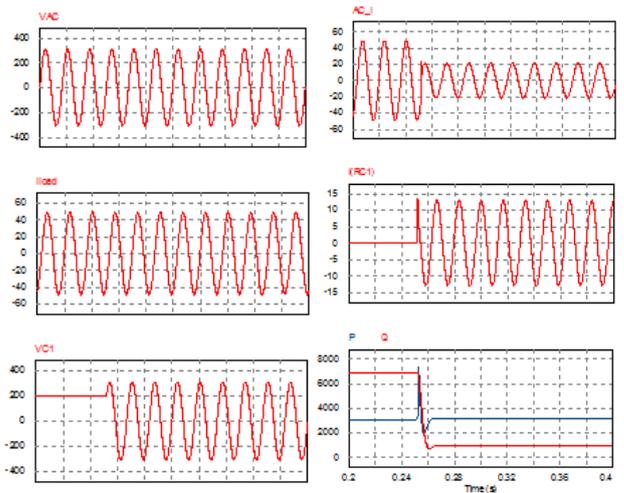


그림 5 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation results of proposed method

그림 5는 제안된 스위칭 방식에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 조건은 기존방식과 동일하게 설정하였다. 콘덴서의 전압은 약 200[V]로 설정한 결과 콘덴서의 전압과 전원전압이 일치하는 순간에 콘덴서 전류가 형성되며 콘덴서의 전압변동이 적어 돌입전류의 피크치는 콘덴서의 정격전류와 동일함을 알 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 하이브리드 무효전력보상장치를 구축할 경우 돌입전류 및 공진등의 문제를 야기하여 시스템에 악영향을 줄 수 있는 TSC의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 TSC 동작 시 돌입전류를 방지하기 위한 새로운 Soft Step Switching 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 돌입전류 제한용 Reactor나 억제 저항을 제거할 수 있었다. 시뮬레이션 결과 제안된 스위칭 방식에서는 TSC 동작 시 돌입전류를 정격전류가 됨을 검증하였다.

본 연구는 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업에 의해 지원되었음 (과제번호:R18XA04)

### 참고 문헌

- [1] Abido, M.A. Abdel Magid, Y.L. "Power system stability enhancement via coordinated design of a PSS and an SVC based Controller", IEEE International Conference on, Electronics, Circuits and systems, Vol 2, pp.850-853, Dec. 2003.
- [2] Phorang, K. Leelajindakraireak, M. Mizutani, Y. "Damping Improvement of oscillation in power system by fuzzy logic based SVC stabilizer", IEEE/PES, Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002 Asia Pacific, Vol. 3, pp.1542-1547, Oct. 2002.
- [3] Dragan Jovicic, Nalin Pahalawatththa, Mohamed Zavahir, Heba A. Hassan, "SVC Dynamic Analytical Model", IEEE transactions on power delivery, Vol.18, No. 4, pp.1455-1461, Oct 2003.