

# 스위칭 셀 PWM AC-AC 컨버터를 이용한 단상 무효전력 보상장치

김상훈, 김흥근, 차헌녕  
경북대학교

## Reactive Power Compensation Using Switching Cell Structured Direct PWM AC-AC Converter

Sanghun Kim, Heung-Geun Kim, Honnyong Cha  
Kyungpook National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 스위칭 셀 구조의 직접형 PWM ac-ac 컨버터를 이용한 새로운 단상 무효전력 보상 장치를 제안한다. 제안한 보상은 최근에 개발된 가변 임피던스 개념을 이용한 무효전력 보상기에서 발전된 형태이다. 기존 보상기에는 시스템 신뢰성에 심각한 악영향을 주는 커뮤테이션 문제가 존재하는데 제안한 보상기에서는 스위칭셀 구조와 결합인덕터로 구성된 ac-ac 컨버터를 사용하여 커뮤테이션 문제를 해결하였다. 이로 인해 기존 시스템에 비해 스위칭 신호 구현이 매우 간편하고 RC 스너버가 필요하지 않으며 결과적으로 매우 신뢰성이 높은 시스템을 구현할 수 있다. 간략화 된 단상시스템을 구축하여 실험을 통해 성능을 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 가변속 구동장치 (adjustable speed drives)와 다이오드 및 사이리스터 정류기와 같은 전력품질을 저하시키는 부하의 확산 인해 계통에서 역률저하 (poor power factor) 현상이 증가하고 있다. 현재 역률저하 현상에 대한 규제 및 벌금이 엄격히 적용되고 있고 대부분의 산업체에서 무효전력 보상장치 설치에 필연적이다. 기존 무효전력 보상기로는 병렬 콘덴서 뱅크, 사이리스터를 이용한 FC-TCR (thyristor-controlled reactor), 인버터 기반의 STATCOM (static synchronous compensator) 등이 있다. 보상 성능, 비용, 공간적 측면에서 우수한 인버터 기반의 STATCOM이 최근에 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 실제 고전압 시스템에 적용되기에는 반도체 소자 기술의 한계와 효율저하 문제로 인해 현재 기술수준으로는 적용하기 힘들다. 이러한 문제를 해결하고자 최근 직접형 PWM ac-ac 컨버터를 이용한 새로운 보상기가 개발되었다<sup>[1]</sup>. 이 장치는 기존 인버터 기반 장치에 비해 저비용, 고효율, 시스템 부피감소 등의 장점이 있다. 하지만 이 장치에 쓰이는 기존 ac-ac 컨버터는 전류 커뮤테이션 문제를 해결하기 위해 복잡한 스위칭 제어 기법을 이용하여 동작하므로 신뢰성이 상당히 취약하다. 제안한 보상은 최근에 개발된 스위칭 셀 구조의 ac-ac 컨버터<sup>[2]</sup>를 이용해 계통의 전압/전류의 극성을 센싱할 필요 없이 커뮤테이션 문제를 완전히 해결할 수 있다. 또한 결합인덕터와 스위칭 셀 구조로 인해 암단락, 암개방 동작이 안정적으로 가능하다. 결론적으로 제안한 보상은 왜곡된 계통에서도 신뢰성이 높고 고전압 계통에 효과적으로 적용 가능하다.

### 2. 제안한 단상 무효전력 보상장치

#### 2.1 회로구성

그림 1에서 제안한 단상 무효전력 보상장치를 나타내었다. 이 장치는 스위칭 셀 구조의 다단 멀티레벨 ac-ac 컨버터와 병렬형 LC 수동필터로 구성된다. 제안한 보상은 기존 병렬형 LC 수동필터에서 가변 임피던스 시스템인 멀티레벨 컨버터가 추가된 형태이다. 멀티레벨 ac-ac 컨버터는 기존의 다단 멀티레벨 인버터와 유사한 구조이고, 기본 셀은 4개의 스위치 ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ), 4개의 다이오드, 결합인덕터, 입력 커패시터 ( $C_1, C_2$ ), 가변 커패시터( $C_v$ )를 갖춘 구조이다. 다단 구조를 통해서 감압 변압기를 사용하지 않고 직접 고전압 시스템에 적용 가능하다. 멀티레벨 컨버터의 기본 셀은 데드타임과 오버랩타임 동작에 있어서 스위칭 소자가 손상되지 않고 신뢰성 있는 동작을 하며 전압/전류의 극성정보 없이 커뮤테이션 문제 해결이 가능하다. 결과적으로 제안한 보상은 기존 시스템에 비해서 강한 신뢰성을 가지게 된다.

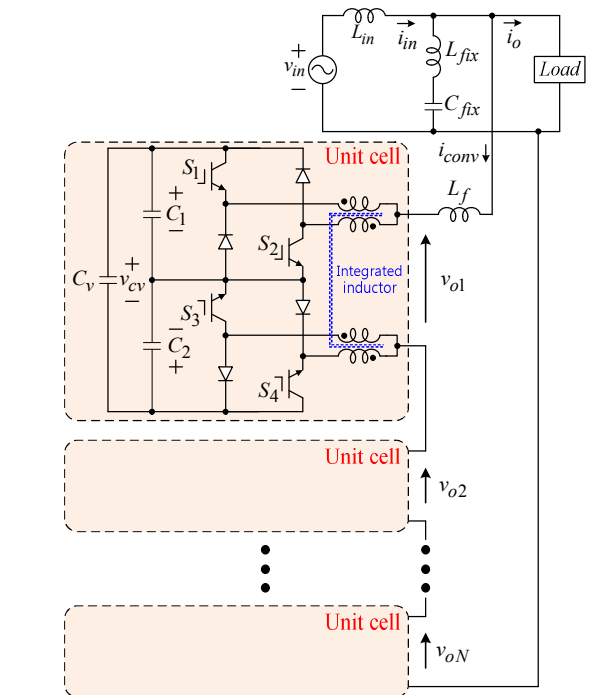


그림 1 제안한 단상 무효전력 보상장치.

## 2.2 동작원리

그림 2 에 제안한 보상기의 등가회로를 나타내었다. 계통 분석을 통해 일정량의 무효전력을 공급을 하는 고정보상기를 설치해야 한다. 가변 임피던스 시스템인 멀티레벨 컨버터가 가변 보상기 역할을 하게 되고 계통의 가변 무효전력을 보상한다. 그림 2 에서처럼 멀티레벨 컨버터 부분은 듀티비에 의해서 가변되는 임피던스로 변환된다. 여기서 듀티비는 스위칭 한 주기에 대한 스위치  $S_1, S_4$  의 ON 시간의 비를 나타낸다. 듀티비를 증가시키면 가변 보상기로부터 공급되는 무효전력이 감소하고, 듀티비를 감소시키면 공급되는 무효전력이 증가한다. 실제 단상 계통에서 부하단의 고조파 전류 (3,5,7,11,13)는 병렬 공진 현상을 유발할 수 있고 이로 인해 LC필터가 손상을 입을 수 있다. 이 현상을 억제하기 위해 일반적으로 LC필터의 공진점을 3고조파로 설정한다. 따라서 실제 제안한 보상기의 고정 및 가변 보상기 부분의 공진점을 3고조파로 설계해야 한다.

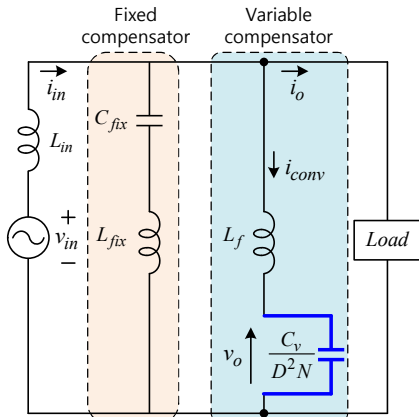


그림 2 제안한 보상기의 등가회로.

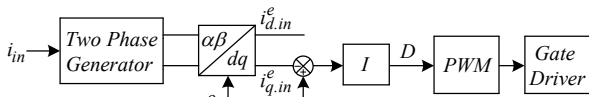


그림 3 제안한 보상기의 제어 블럭도.

그림 3 제안한 보상기의 제어 블럭도를 나타내었다. 동기좌표계 개념을 이용해서 계통 입력 전류를 센싱하여 라인 주파수 (60 Hz) 성분의 동기좌표계 q축 성분을 생성한다. I제어기를 이용하여 동기좌표계 q축 전류 성분을 0으로 제어해서 계통 전압과 전류의 위상을 일치하게 해준다.

## 3. 실험결과

제안한 보상기의 성능검증을 위해, 그림 4와 같은 2단 구조의 보상기를 제작하여서 실험하였다. 실험 조건은  $v_{in}=110$  V<sub>rms</sub>/60 Hz,  $f_{sw}=50$  kHz,  $L_f=6$  mH,  $L_o=40$  mH,  $C_v=22$  uF,  $C_1 \sim C_2=1.5$  uF 이고,  $R_o$ 는 40→30→20 옴으로 가변하였다. 그림 5(a)에  $v_{in}, i_{in}, i_o, D$ 의 실험파형을 나타내었다. 그림 5(b)는 듀티비가 1일 때 즉, 제어가 이루어지기 전 그림 5(a)의 확대파형이다. 그림 5(c)~(d)는  $R_o$  값에 따른 그림 5(a)의 확대파형을 나타낸다.

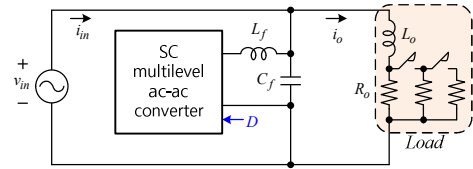


그림 4 간략화 된 실험회로.

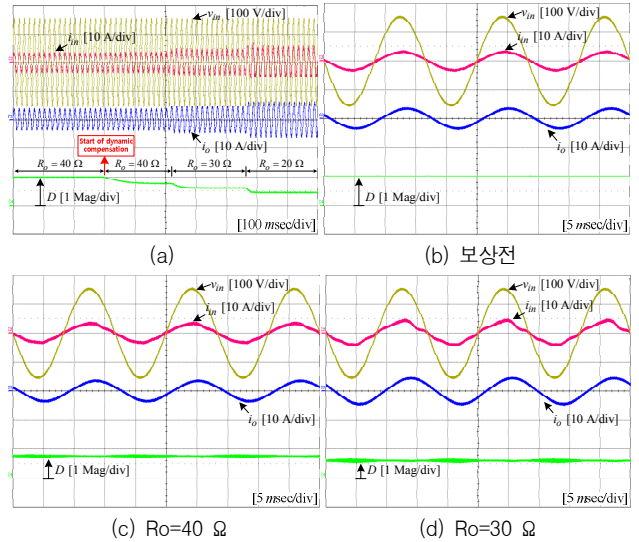


그림 5 제안한 보상기의 실험파형.

## 4. 결론

본 논문에서 스위칭 셀 구조의 PWM ac-ac 컨버터를 이용한 새로운 무효전력 보상장치를 제안하였다. 기존 ac-ac 컨버터를 이용한 보상기와는 달리, 제안한 보상기는 스위칭 셀과 결합인덕터를 이용한 구조의 ac-ac 컨버터를 사용하여 계통 입력 전압/전류의 극성정보 없이 커뮤니케이션 문제를 완전히 해결 가능하다. 따라서 센싱장비가 불필요하고 별도의 스너버 회로가 필요 없으며 계통 전압/전류의 왜곡이 있더라도 안정적으로 동작한다. 2단 멀티레벨 컨버터로 구성된 제안한 보상기를 제작하여 실험을 통해 성능을 검증하였다.

## 참고 문헌

- [1] P. Ladoux, J. Fabre, and H. Caron, "Power-quality improvement in AC railway substations: the concept of chopper-controlled impedance," *IEEE Electrification Magazine*, vol.2, issue 3, pp. 6 - 15, Sept. 2014.
- [2] Sanghoon Kim, Heung-Geun Kim, and Honnyong Cha, "A novel single-phase cascaded multilevel AC-AC converter without commutation problem," in *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo.*, 2014, pp. 556 - 562.