

멀티레벨 인버터를 이용한 무효전력보상장치에서의 전압 보상

김효진*, 정승기**

광운대학교

The DC-Link voltage compensation of Reactive Power Compensator using Multi-level Inverter

H.J. KIM *, S.G. JEONG**

Kwang Woon University

Abstract

무효 전력을 보상하기 위한 장치로 단상 인버터를 이용한 멀티레벨 인버터를 이용할 때 불평형 부하가 아닐 경우에도 각각 직렬 연결된 단상 인버터들 사이에서 DC-Link 불균등 현상이 발생한다. 이 불균등에 대한 원인 및 해결 방법을 제안하였다. 그리고 이 알고리즘을 이용한 시뮬레이션으로 그 가능성을 증명하였다

1 서론

에너지 절감 및 에너지 효율 증대의 일환으로 산업계에서 엄격한 전력 품질 제한에 기인한 양질의 전력에 대한 요구가 증대 되고 있다. 이에 전력 품질의 개선을 위하여 계통을 안정화 하고 공급 전압을 일정하게 유지할 목적으로 무효 전력 보상 장치의 적용이 필수적으로 채택되는 추세이다.

기존의 무효 전력을 보상하기 위한 방법으로 여러 스위치를 단 커패시터 뱅크들을 전원단에 병렬로 달아서 사용한 진상 역률 제어 방법, 동기 조상기, 정지형 무효 전력 보상 장치가 사용되고 있다. 무효 전력 보상 장치 제어 방법으로 3-Level 인버터를 이용한 무효 전력 보상장치들이 기존에 주를 이루고 있으나 이는 고압의 대용량을 목적으로 하는 시스템에 적용하기에는 소자 및 부품이 추가적으로 들어가게 되며, 스위칭 손실 증가로 인한 운전 비용과 고조파 장애 등이 문제점이 된다. 이에 저압의 소자들을 사용한 단상 풀 브릿지 인버터를 직렬 연결한 멀티 레벨 인버터를 이용한 무효 전력 보상 장치를 제안한다. 멀티 레벨 인버터를 이용하였을 경우에 여러 이유로 인하여 직렬 연결된 인버터의 DC-Link 전압 불균등이 발생하게 된다. 이 전압 불균등을 해결하기 위하여 각각의 셀의 스위칭 패턴을 변경하는 방법, 각각인 단상 인버터의 유효 전력을 계산하여 해결하는 방법등 다양한 방법으로 DC-Link 전압 불균등 해결 방법을 제시해왔다.

본 논문에서는 DC-Link 불균등 해결하기 위해 각각의 단상 인버터에서 출력 전압 레퍼런스 크기와 위상을 이용하여 DC-Link 전압 불균등 제어를 하는 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 증명하였다.

2. DC-Link 전압 불균등 제어 방법

2.1 시스템 구성 및 전압 불균등 이유

본 논문에서 적용한 무효 전력 보상 장치의 기본형태는

그림 1과 같이 단상 풀브릿지 인버터를 직렬 연결하는 형태의 무효전력 보상장치와 전원전압, 그리고 가변부하로 구성하였다. 그리고 제어기 구성은 무효전력보상을 위한 주제어기와 단상 인버터의 스위칭 결정 및 DC-Link 전압 보상을 위한 제어를 담당하는 단상 인버터 각각의 제어기가 구성되어 있다.

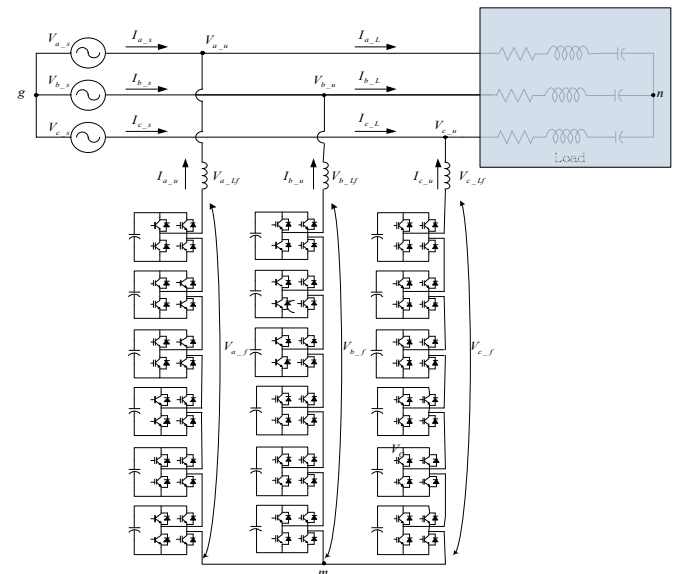


그림.1 멀티레벨 STATCOM의 전력회로 구성

그림 1과 같이 구성한 회로에서 각각의 단상 인버터의 DC-Link 불균등 발생 요소는 다음과 같다.

- 첫째, 개별 인버터에서 소비되는 소비전력 차이.
- 둘째, 커패시터의 용량차이.
- 셋째, 선로의 임피던스 차이.
- 넷째, 제어 신호에 오차.

다섯째, PWM 스위칭 방법에 의한 역률 차이. 이중에 다섯째 이유가 DC-Link 불균등 요인으로 가장 큰 비중을 차지한다.

2.2 DC-Link 전압 불균등 보상

그림 1과 같은 형태의 장치에는 DC-Link측에 별도의 전원이 공급되지 않으므로 단상 인버터에 흐르는 계통 전류 충,방전을 통하여 DC-Link 전압을 제어하게 된다. 셀의 DC-Link 전압 식은 식 (1)과 같이 계통 전류와 스위칭 상태로 나타낼 수 있다.

$$v_{dc(n)} = \frac{1}{C} \int (i * SW) dt \quad (1)$$

C = 정전용량

$v_{dc(n)}$ = 직렬 연결된 n번째 셀의 DC-link 전압

i = STATCOM에서 전원계통으로 흐르는 상전류

SW = 스위칭 상태

DC-Link 전압을 변경시켜 주기 위해서는 SW를 변경하는 방법을 이용해야 한다. 이 SW 변경을 위해 각각 개별 단상 인버터의 전압 레퍼런스의 크기 또는 위상을 제어한다.

2.2.1 단상 인버터 레퍼런스 크기를 변경하는 방법

그림 2는 PI 제어기를 이용한 DC-Link 전압 보상 제어를 보여준다.

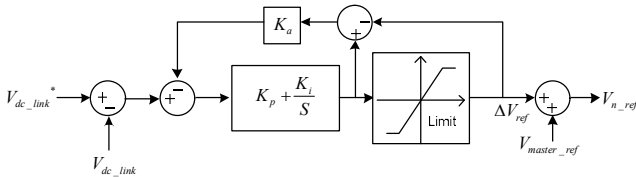


그림 2. 셀 DC-Link 전압 보상 제어기

2.2.1 방법을 이용할 경우 단상 인버터의 전압 레퍼런스의 크기는 한정되어 있다. 무효 전력 보상을 위한 전압 레퍼런스가 큰 경우 ΔV_{ref} 값의 범위는 한정된다. 제어 가능한 ΔV_{ref} 가 작으면 DC-Link 균등 제어 능력이 줄어들어 큰 효과를 기대하기 어렵다.

2.2.2 셀 출력 전압의 위상을 변경하는 방법

PWM 방법 중 Phase Shift Modulation 방법을 이용하여 시스템을 구성하면 각각의 단상 인버터의 출력 전압과 출력 전류에 대한 역률각이 서로 다르게 된다. 이 역률각 차이를 이용하여 DC-Link 전압을 제어 하는 방법이다. 제어기의 구성은 그림 2와 동일하다. ΔV_{ref} 가 ΔA , V_{ref} 가 ωt 로 변경되는 형태이다. 여기서 ω 는 전원 각주파수이다. 이 방법은 전압 불균등 해소에 효과적이기는 하나 ΔA 의 양은 한정되어 있기 때문에 DC-Link 보상을 위한 단독 알고리즘으로는 부족하다.

2.2.3 셀 출력 전압과 위상을 변경하는 방법

2.2.2와 2.2.3에서 언급한 방법을 함께 사용하는 방법이며 그림 3과 같은 형태로 보상을 한다. 1차적으로 DC-Link 불균등을 레퍼런스의 크기를 이용하여 보상을 한 후 여전히 불균등이 남아있을 경우에 한하여 위상 제어 방법을 추가적으로 이용하는 방법이다.

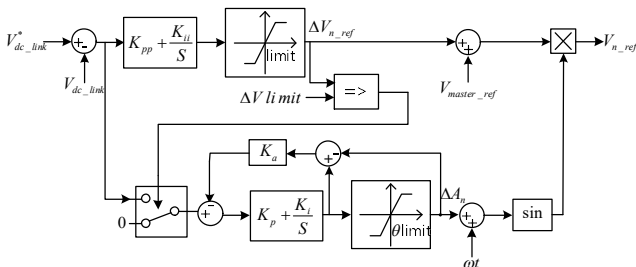


그림 3. 위상 및 크기를 변경시키는 방법

2.3 시뮬레이션

시뮬레이션은 정격 용량 1000[KVA], 정격전압6600[V], 출력 리액턴스값 12[mH]이며 직렬 연결된 셀의 개수는 6개의 셀을 사용하였으며, 셀의 사양은 정격 용량 55[KVA], 커패시터 용량 6800[uF], 레퍼런스 DC-Link 전압은 1200[V]로 설정하였다.

2.3.1 DC-Link 불균등 보상을 하지 않을 경우

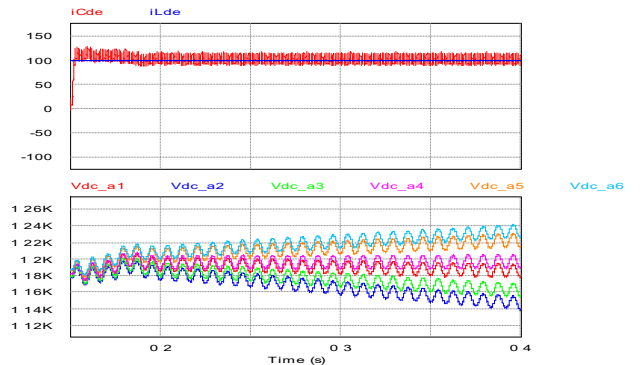


그림 4. 불균등 제어 하지 않을 경우

2.3.2 DC-Link 불균등 보상을 하는 경우

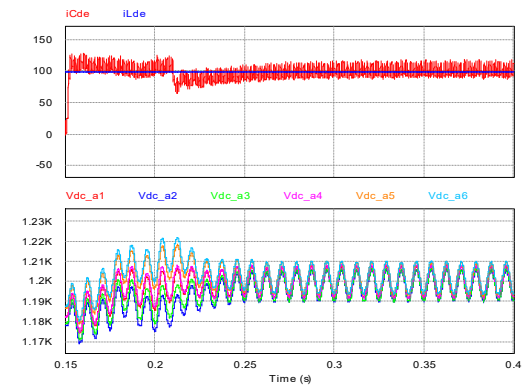


그림 5. 불균등 제어 하는 경우

그림 4와 그림 5에서 보는 것과 같이 i_{Cde} [인버터측 무효전류 보상분]와 i_{Lde} [부하측 무효전류]가 동일한 것으로 보아 무효 전력 보상이 되는 것을 확인할 수 있다. (하지만 DC-Link 불균등 제어를 하지 않고서는 각각의 셀의 DC-Link 전압이 발산하는 것을 확인하였다. 2.2.3 방식을 이용하여 불균등 보상 제어를 할 시 DC-Link 전압이 보상되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

무효전력보상을 위해 단상인버터를 이용한 멀티레벨의 무효전력 보상장치를 적용하였으며, 단상 인버터 불균등을 기준전압 크기와 위상을 변경하는 방법을 사용하여 DC-Link 불균등 제어와 무효전력 보상을 할 수 있음을 확인하였다.

Reference

- [1] D. soto. "A DC link capacitor voltages control strategy for a PWM cascaded STATCOM", IEEE, pp2251~2256, 2005
- [2] Fang Z.Peng, "A Universal STATCOM with Delta-Connected Cascaded Multilevel Inverter", 2004, p3529~3533