

불평형 부하를 가지는 Cascaded H-bridge Multilevel STATCOM에서 전압불평형 보상기의 설계

김태형¹, 권병기¹, 정승기²
 포스코 ICT 기술센터 전력전자기술팀¹, 광운대학교²

Design of Voltage Unbalance Compensator in Cascaded H-bridge Multilevel STATCOM with Unbalanced Load

Tae-Hyeong Kim¹, Byung-Ki Kwon¹, Seung-Ki Jung²
 POSCO ICT R&D Center Power Electronics Technology¹, Kwangwoon University²

ABSTRACT

본 논문에서는 전기로 부하에서 발생하는 무효전력 성분과 역상분 전류를 보상하기 위한 STATCOM(STATIC synchronous COMPensator)을 Cascaded Multilevel Converter(CMC)로 구성하는 경우 역상분 전류 보상에 발생하는 직류전압의 불평형을 보상하기 위한 방법을 제안하고, 이를 시뮬레이터를 통해 검증하였다.

1. 서론

Cascaded Multilevel Converter는 각 상이 독립적인 직류전원을 가지는 H-bridge 구조의 셀(Cell) 인버터들이 직렬로 구성되어 있어 고압화와 대용량화가 용이하고 출력전압의 고조파 특성이 우수한 장점이 있다. 하지만 직류측이 분리되어 있어 역상분 전류를 출력하는 경우 각 상에 다른 크기의 유효전력이 발생하여 직류 전압의 불평형이 나타난다.^[1] 이러한 불평형 문제는 제어성을 저하시키고 시스템을 불안정하게 만들기 때문에 직류전압의 불평형을 보상하는 제어가 필요하다.

2. 전압 불평형 보상기의 설계

2.1 역상분 전류 보상에 의한 전압 불평형

본 논문에 사용된 Cascaded Multilevel Converter는 각 상이 델타로 결선되어 있으며, 시스템의 구성은 그림 1과 같다. STATCOM의 출력 전압은 3상 평형인 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다. (여기서 ω_e 는 계통 각 주파수)

$$v_{Cab} = \sqrt{2} \cdot V_C \cdot \cos(\omega_e t) \quad \text{식(1)}$$

$$v_{Cbc} = \sqrt{2} \cdot V_C \cdot \cos\left(\omega_e t - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$v_{Cca} = \sqrt{2} \cdot V_C \cdot \cos\left(\omega_e t + \frac{2}{3}\pi\right)$$

역상분 전류에 의한 영향을 분석하기 위해 출력 전류의 역상분 전류만 고려하는 경우 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$i_{Cab} = \sqrt{2} \cdot I_{Cn} \cdot \cos(\omega_e t + \phi_n) \quad \text{식(2)}$$

$$i_{Cbc} = \sqrt{2} \cdot I_{Cn} \cdot \cos\left(\omega_e t + \frac{2}{3}\pi + \phi_n\right)$$

$$i_{Cca} = \sqrt{2} \cdot I_{Cn} \cdot \cos\left(\omega_e t - \frac{2}{3}\pi + \phi_n\right)$$

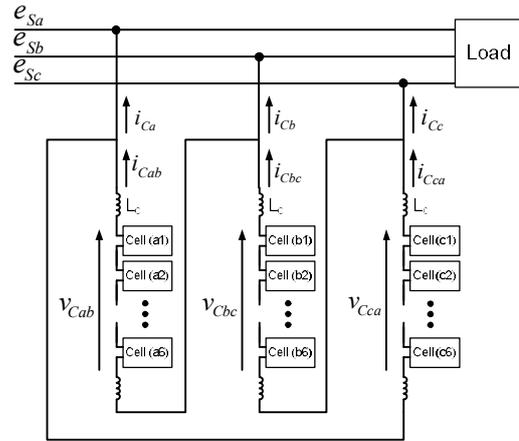


그림 1. 시스템 구성

출력전압과 출력전류를 벡터로 나타내면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 각 출력전류를 출력전압과 같은 방향의 벡터로 분리하면 역상분 전류에 의한 유효 성분은 $\vec{I}_{Cabn(active)}$, $\vec{I}_{Cbcn(active)}$, $\vec{I}_{Ccan(active)}$ 로 각각의 크기가 다른 것을 알 수 있으며, 이로 인해 직류단에 불평형이 발생된다.

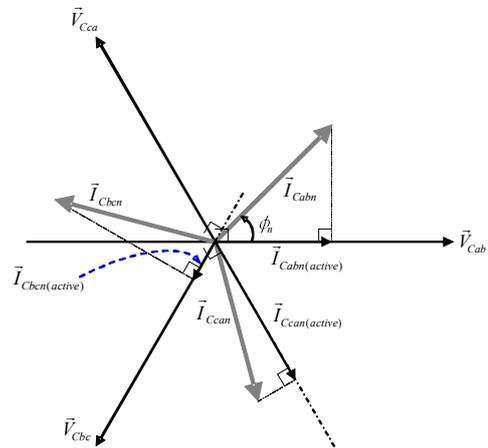


그림 2. 역상분 전류 보상이 벡터도

역상분 전류에 의한 유효전력성분을 상쇄시키기 위해서 각 상에 크기와 방향이 같은 역상분 전류를 주입하면 출력전류는 그림 3과 같이 나타난다. 역상분 전류는 델타결선 내에서 순환하는 전류이기 때문에 계통으로 출력되는 보상전류에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 역상분 전류가 주입된 각 상의 전류 벡터는 보상전류는 일정하게

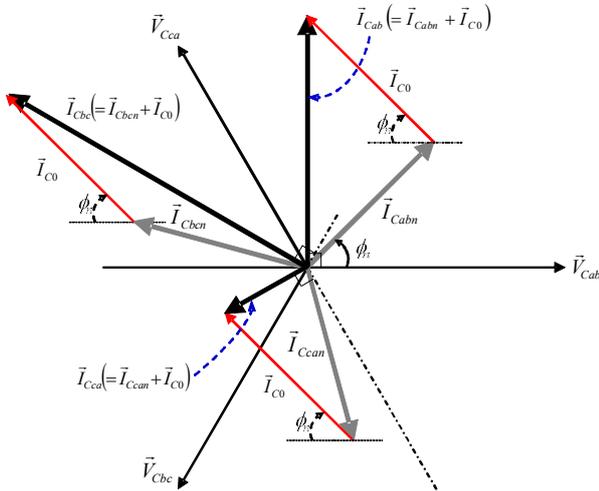


그림 3. 역상분 보상전류에 영상분 전류 주입시 벡터도

유지하면서 각 상에 발생하는 유효전력 성분은 상쇄되는 것을 알 수 있다. 위와 같이 역상분 보상전류에 의한 유효전력 성분을 상쇄시키기 위한 영상분 전류는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{C0} = -\sqrt{2} \cdot I_{Cn} \cos(\omega_e t - \phi_n) \quad \text{식 (3)}$$

2.2 Feed-back 제어를 통한 상 불평형 보상제어

Feed-back 제어를 통한 상불평형 보상제어는 그림 4와 같이 구성하였으며, 각 상의 직류전압을 통해 평균값을 계산하고 이를 PI제어기를 통해 각 상에 필요한 보상 전류를 계산하게 된다. 이를 영상분 전류 지령으로 합성한다.

영상분 전류제어는 동기좌표계상에서 PI제어기로 구성하였으며, 보상전류에 의해 만들어진 기준값에 90도 지연된 가상의 전류를 생성하여 동기좌표축으로 변환하였다.

상 불평형 보상 제어기는 영상분 전류 제어기와 직류 전압제어기에 의해서 제어 대역폭이 제한되기 때문에 역상분 전류의 출력이 변동하는 경우 직류전압의 변동이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 역상분 전류 기준값을 이용하여 전향보상을 수행하면 과도상태에도 직류전압의 변동을 최소화 할 수 있다. Feed-forward제어가 추가된 상불평형 보상 제어기는 그림 5와 같다.

2.3 상 불평형 보상 제어기 시험 결과

상 불평형 제어기의 동작을 검증하기 위하여 역상분 전류를 정격의 40% 스텝으로 변경하였을 때 직류전압의 변동량을 확인하였다. Feed-back 제어만 사용한 경우 역상분 전류 스텝 변동시에 직류전압 b,c상이 평균값의 10%(약 80V)정도 변동하는 것을 확인할 수 있다. Feed-back과 Feed-forward를 동시에 사용하는 경우 역상분 전류 스텝 변동시에도 직류전압의 변동 없이 직류전압이 제어되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 역상분 전류 보상시에 발생하는 상 불평형을 보상하기 위하여 Feed-back 제어기를 구성하였고 과도상태 특성을 개선하기 위하여 역상분전류 지령치로 부터 영상분 전류 지령치를 직접 검출하는 Feed-forward 보상을 구성하여 우수한 성능의 상간 전압불평형 보상이 구현하였으며, 실험을 통해 검증하였다.

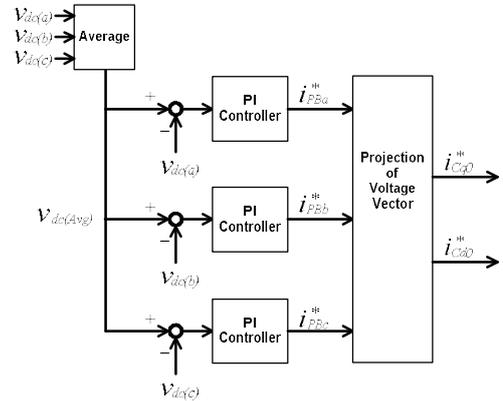


그림 4. Feed-back 제어를 통한 상 불평형 제어

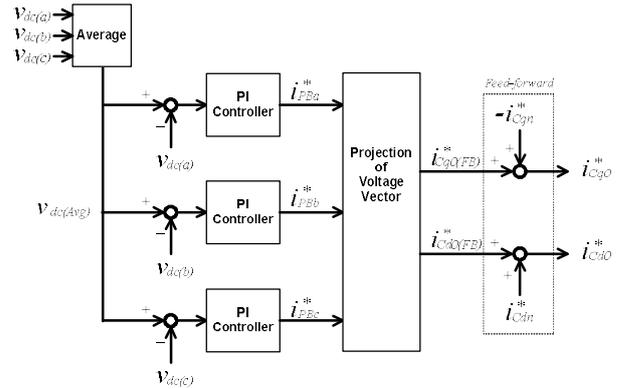
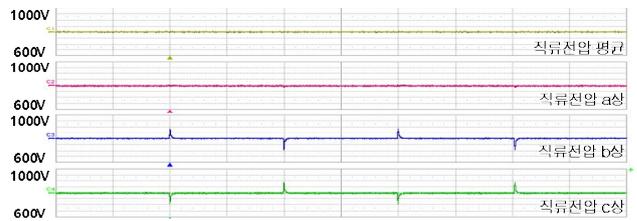


그림 5. Feed-forward제어가 추가된 상 불평형 보상 제어기

• Feed-back 제어시



• Feed-back + Feed-forward 제어시

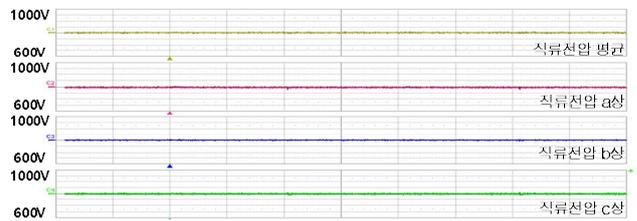


그림 6. 역상분 전류 출력시 각 상의 직류전압(5s/div)

참고 문헌

[1] Makoto Hagiwara, Hirofumi Akagi, "Negative-Sequence Reactive-Power Control by a PWM STATCOM Based on a Modular Multilevel Cascade Converter(MMCC-SDBC)", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 48, No. 2, pp. 720-729, 2012, March/April.