

LCL 필터의 능동댐핑을 적용한 3상 4선식 PWM 정류기 제어

한정호, 김현섭, 박한얼, 송중호
서울과학기술대학교

Control of Three-Phase Four-Wire PWM Rectifier Using Active Damping of LCL Filter

Han Junggho, Kim hyunsub, Park Haneol, Song Joongho
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문은 LCL 필터의 능동댐핑을 적용한 3상 4선식 PWM 정류기 제어 방법을 제안한다. 3상 4선식 PWM 정류기의 입력단에 위치한 LCL 필터는 단일 L 필터에 비해 필터 사이즈, 무게 감소와 입력 전류의 고조파 성분 감소 등에 장점을 가지고 있다. 그러나 LCL 필터의 공진 주파수의 영향으로 PWM 정류기 제어 안정성 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 LCL 필터에 능동댐핑을 적용하여 PWM 정류기 제어 안정성을 향상 시킨다. 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문이 제안한 제어 방법의 실효성을 검증한다.

1. 서 론

최근 입력역률 제어와 출력 직류전압을 동시에 제어할 수 있는 3상 PWM 정류기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 3상 PWM 정류기는 스위칭으로 인한 고조파를 발생시켜 전력계통에 문제를 야기할 수 있다. 이러한 고조파 저감을 위해 기존에는 3상 PWM 정류기의 입력단에 단일 L 필터를 사용해 왔다. 하지만 단일 L 필터는 3상 PWM 정류기의 용량이 증가함에 따라 필터 사이즈, 무게 등이 증가하는 단점을 가지고 있다.

LCL 필터는 단일 L 필터에 비해 필터 사이즈, 무게 감소와 입력 전류의 고조파 성분 감소 등이 더 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 LCL 필터의 공진 주파수의 영향으로 PWM 정류기 제어 안정성 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로는 필터 커패시터에 댐핑저항을 연결하는 수동댐핑이 있으나 저항성분에 의한 손실이 발생하는 단점이 있다. 수동 댐핑으로 인한 손실 없이 공진 안정성 문제를 해결하기 위한 능동댐핑의 방법으로는 진 지상 보상기를 사용하는 방법과 가상저항을 이용한 방법이 연구 되었다.^[1] 그러나 능동댐핑이 3상 4선식 PWM 정류기에 적용된 사례는 흔치 않다.

본 논문은 LCL 필터의 능동댐핑을 적용한 3상 4선식 PWM 정류기 제어 방법을 제안한다. 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문이 제안한 제어 방법의 실효성을 검증한다.

2. 능동댐핑을 적용한 3상 4선식 PWM 정류기 제어

2.1 LCL 필터 모델

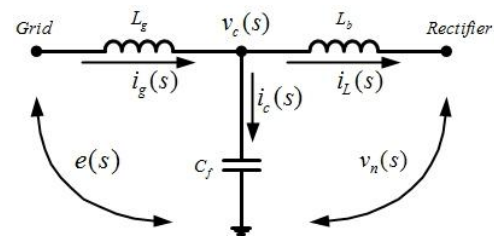


그림 1 LCL 필터 단상 등가회로
Fig. 1 Single phase equivalent of LCL

LCL 필터는 계통 측 인덕터와 정류기 측 인덕터, 필터 커패시터로 이루어지며 각 파라미터 설계는 파라미터가 시스템에 미치는 영향에 따라 설계된다. LCL 필터는 그림 1과 같은 단상 등가회로로 나타낼 수 있고, 전달함수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_g(s)}{v_n(s)} = \frac{1}{L_b s} \frac{s^2 + z_{LC}^2}{s^2 + \omega_{res}^2} \quad (1)$$

여기서, $Z_{LC}^2 = (L_g C_f)^{-1}$, $\omega_{res}^2 = (L_g + L_b) z_{LC}^2 / L_b$ 이다.

식(1)에서 적절한 공진 보상을 하지 않는다면 z_{LC} , ω_{res} 에 포함돼 있는 LC파트로 인하여, 극점과 영점이 극좌표상의 허수축에 위치한 공진 주파수에서 공진을 일으킨다.

2.2 제안된 3상 4선식 PWM 정류기 제어 알고리즘

그림 2는 제안된 3상 4선식 PWM 정류기 제어 알고리즘을 나타낸다. d축 전압 제어기는 출력 직류전압 V_{DC} 와 V_{DC}^* 의 오차를 입력 받아 i_d^* 를 출력한다. i_q^* 는 입력역률 제어를 위하여 0으로 제어한다. d축과 q축 전류 제어기는 각각 전류 기준치 i_d^* , i_q^* 와 i_d , i_q 의 오차를 입력 받아 v_{dn}' , v_{qn}' 을 출력한다. 3상 4선식 정류기는 3상 3선식과 달리 중성점이 존재하기 때문에 그림 2와 같이 입력의 중성점이 출력 직류전압의 중간점과 연결된다. 여기서, V_{DC+} 와 V_{DC-} 의 전압 불평형이 존재할 경우 중성점에 흐르는 전류가 증가할 수 있다. 이러한 이유로 V_{DC+} 와 V_{DC-} 의 오차를 입력 받아 0축 전류 기준치 i_0^* 를 생성함으로써 중성점 전류제어가 가능하다.

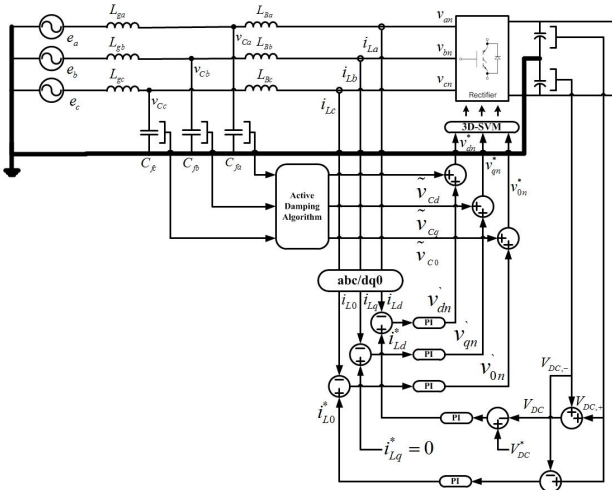


그림. 2 제안된 3상 4선식 PWM 정류기 제어 알고리즘
Fig. 2 Proposed control algorithm of three-phase four-wire PWM rectifier

$v_{dn}^*, v_{qn}^*, v_{0n}^*$ 은 능동댐핑 성분 $\tilde{v}_{Cd}, \tilde{v}_{Cq}, \tilde{v}_{C0}$ 와 더해져 $v_{dn}^*, v_{qn}^*, v_{0n}^*$ 을 생성한다. PWM방식에는 3D SVM을 적용한다.[2]

그림 3은 능동댐핑 알고리즘을 나타낸다. 필터 커패시터 전압의 d q 0 성분 $v_{C,dq0}$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

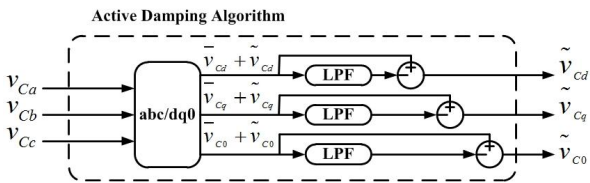


그림. 3 능동댐핑 알고리즘 블록도
Fig. 3 Block diagram of active damping algorithm

$$v_{C,dq0} = \overline{v}_{C,dq0} + \tilde{v}_{C,dq0} \quad (2)$$

여기서, $\overline{v}_{C,dq0}$ 는 DC성분을 의미하고, $\tilde{v}_{C,dq0}$ 는 AC 성분을 의미한다.

AC 성분은 능동댐핑에 기인하므로 그림 3과 같이 Low Pass Filter를 이용하여 AC 성분을 추출한다.

3. 시뮬레이션

제안된 알고리즘의 성능 확인을 위하여 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

그림 4는 0.2초에서 능동댐핑 알고리즘이 적용되었을 때 필터 커패시터 전압, 계통 전류, 중성점 전류를 나타낸다. 능동댐핑 알고리즘이 적용되었을 때 커패시터 전압, 계통 전류의 리플성분이 감소하고, 중성점 전류 또한 감소함을 알 수 있다. 또한, 그림4에서 0.23초 때 정격부하의 50%에서 100%로 부하가 증가하여도 0축 전류제어기의 영향으로 인해 중성점 전류가 효과적으로 제어됨을 알 수 있다. 그림 5에서 0.23초 때 정격부하의 50%에서 100%로 부하가 증가하여도 출력 전압이 일정함을 알 수 있다. 또한, 0축 전압 제어기의 효과로 V_{DC+} 와

V_{DC-} 의 전압이 평형을 이루고 있음을 알 수 있다.

표. 1 시뮬레이션 파라미터
Table. 1 Simulation parameter

정격전력	60kW
입력 선간전압	380Vrms
출력 직류전압	700V
스위칭 주파수	10kHz
계통 축 인덕턴스	60uH
정류기 축 인덕턴스	1.5mH
필터 커패시턴스	20uF

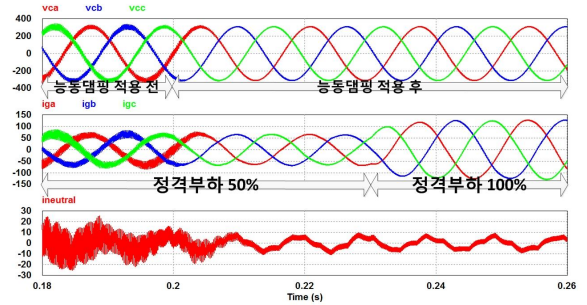


그림. 4 필터 커패시터 전압(상), 계통 전류(중), 중성점 전류(하) 파형

Fig. 4 Simulation waveform of filter capacitor voltage(upper), grid current(middle) and neutral current(lower)

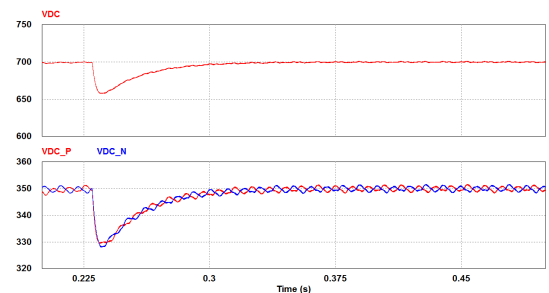


그림. 5 출력 직류전압 파형

Fig. 5 Simulation waveform of output DC voltage

4. 결론

본 논문은 LCL 필터의 능동댐핑을 적용한 3상 4선식 PWM 정류기 제어 방법을 제안하였다. 제안한 제어방법은 능동댐핑에 있어서 우수한 성능을 나타내었다. 또한, 중성점 전류제어와 출력 직류전압 평형제어에 효과적인 제어방법임을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Sun Wei, Wu Xiaojie, Dai Peng and Zhou Juan, "An over view of damping methods for three phase PWM rectifier", IEEE Int. Conf. ICIT, pp. 1 5, 2008.
- [2] M. Villalva, and F. Ruppert, "3 D space vector PWM for three leg four wire voltage source inverters," IEEE Int. Conf. PESC, pp. 3946 3951, 2004.