

Interlinking 컨버터의 부하 변동에 따른 액티브 댐핑을 위한 최적 제어 알고리즘

김태규*, 이훈*, 최봉연*, 강경민*, 김미나*, 원충연*
성균관대학교*

Optimal control algorithm for active damping of interlinking converter in the variable load conditions

Tae-Gyu Kim*, Hoon Lee*, Bong-Yeon Choi*,
Kyung-Min Kang*, Mi-Na Kim*, Chung-Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

This paper proposes an optimal control algorithm which determines active damping resistor values considering load variation and grid side current THD. Proposed optimal control algorithm improves grid side current THD of the interlinking converter without passive damping resistor and is verified by simulation under variable load conditions.

$$f_{res1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L+L_g}{LL_g C_f}} \dots (2), f_{res2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_g C_f}} \dots (3)$$

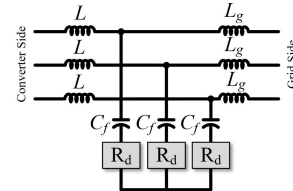


그림 1 3상 LCL 필터의 구성
Fig. 1 Configuration of three-phase LCL filter

1. 서론

배전망과 연계되는 3상 AC/DC 컨버터의 스위칭 속도는 보통 수kHz의 스위칭 주파수를 사용한다. 이와 같은 낮은 스위칭 주파수는 배전망의 출력 전류의 고조파를 증가시켜 전력 품질을 저하시키므로 적절한 필터의 설계가 필수 불가결하다. 본 논문에서는 3상 AC/DC 컨버터에 LCL 필터를 적용하였으며, LCL 필터는 L 필터에 비해 전류 리플을 줄일 수 있으며 작은 인덕턴스 값을 가져도 되므로 부피의 저감이 가능하다. LCL 필터는 특정 주파수 영역에서 공진이 발생하게 되며, 이를 완화하기 위해 댐핑 저항을 필요로 한다. 가장 간단한 방법은 패시브 댐핑 저항을 적용시키는 것이지만 이 방법은 패시브 저항으로 인한 부피의 증가와 저항에서 열에 의해 손실이 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하고자 Interlinking 컨버터에 액티브 댐핑 저항 기법을 적용하였으며, 부하 변동 및 전류 THD에 따라 액티브 댐핑 저항의 값이 변동하는 최적 제어 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. Interlinking 컨버터의 구성 및 제어 알고리즘

2.1 LCL 필터의 구성 및 공진주파수 분석

3상 LCL 필터는 그림 1과 같이 구성되었으며, 계통 측 인덕턴스는 $100[\mu H]$, 컨버터 측 인덕턴스는 $1[mH]$, 커패시터는 $23[\mu F]$ 로 선정하였다. 댐핑저항이 없을 때 LCL의 전달함수 G_{LCL} 는 식 (1)과 같이 나타나며, 2개의 공진주파수는 수식 (2), (3)과 같이 나타난다.

$$G_{LCL} = -\frac{1}{sL} \left(\frac{s^2 + \frac{1}{L_g C_f}}{s^2 + \frac{L+L_g}{LL_g C_f}} \right) \dots (1)$$

2.2 Interlinking 컨버터의 액티브 댐핑을 위한 제어 블록도 구성

Interlinking 컨버터는 3상 AC/DC 컨버터로써 AC 버스와 DC 버스를 연계시키는 역할로써, DC 버스의 전압을 750[V]로 유지되도록 전압제어를 수행한다. 액티브 댐핑 가상 저항 기법을 적용하기 위해 계통 측에 전류 센서를 추가하였다. 액티브 댐핑 가상 저항이 적용된 제어기의 블록도는 그림 2와 같다.

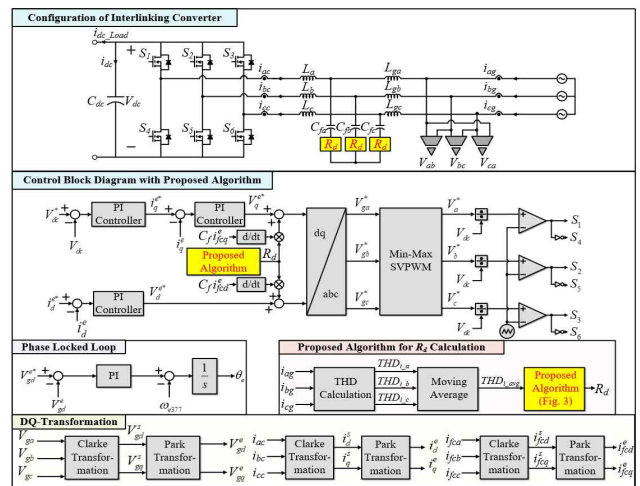
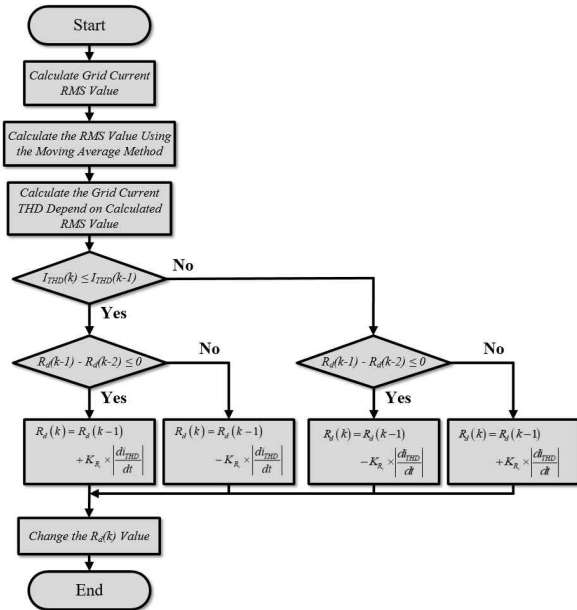


그림 2 Interlinking 컨버터의 제어블록도
Fig. 2 Control block diagram of interlinking converter

LCL 필터의 커패시터 전류를 피드백하여 받아오기 위해 계통 측에 전류센서를 추가하였다. 커패시터 전류를 미분하고 필터 커패시턴스와 가상 댐핑 저항을 곱하고, 이를 전류 제어기의 출력 값에 더해주는 형태로 피드백 제어를 구성하였으며, 가상 댐핑 저항의 크기는 제안하는 알고리즘에 의해 결정된다.

2.3 제한하는 최적 제어 알고리즘

본 논문의 알고리즘은 전류 THD의 값을 필요로 한다. 3상의 평균 전류 THD의 값을 구하기 위해선 각 상전류의 RMS 값이 필요하게 되는데 이는 한 주기마다 계산되는 값이므로 한 주기마다 값이 변동되게 된다. 알고리즘 계산에 이를 적용하기 위해 Moving Average 기법을 사용하여 전류 THD를 선형적으로 구하였다. 3상 전류의 평균 THD의 값과 가상 댐핑 저항 R_d 의 이전값과 현재 값을 비교하고 알고리즘에 따라 가상 댐핑 저항 R_d 의 값을 변동시켜 전류 THD가 낮은 방향으로 변



하도록 그림 3과 같이 알고리즘을 구성하였다.

그림 3 전류 THD에 따른 가상 저항 계산을 위한 제한하는 최적 제어 알고리즘

Fig. 3 Proposed optimal control algorithm for virtual resistance calculation according to current THD

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 무부하에서 정격부하까지 순차적으로 올라갔다가 다시 무부하 상태로 내려오도록 설계되었으며, 적용된 제어기의 이득값과 컨버터의 정격은 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters

Parameters		Symbol	Values
전류 제어기	P 이득	K_{cp}	9.89874
	I 이득	K_{ci}	11096
전압 제어기	P 이득	K_{vp}	0.3705
	I 이득	K_{vi}	100.14
정격 전력		$P_{LLC, rated}$	20[kW]
DC 버스 전압		V_{dc}	750[V _{dc}]

그림 4는 부하의 변화에 따라 액티브 댐핑 저항 기법이 적용된 시뮬레이션 파형을 나타내었다. 파형은 위쪽부터 계통 측 3상 전류 I_a, I_b, I_c , 계통 측 3상 전류의 평균 THD, 전류 THD를 선형적으로 나타내기 위해 Moving Average 방식으로 계산한 전류 THD, 적용된 알고리즘에 의해 전류 THD에 따라 변동하는 가상 저항의 값, 계통 측 평균 전류 THD의 변화량을 나타내었다. 시뮬레이션은 디비전당 0.2초를 나타내었다.

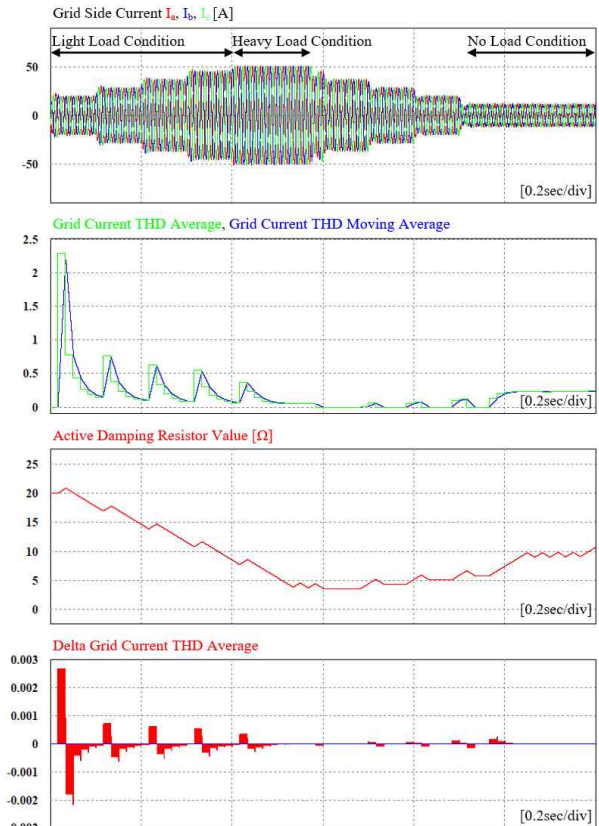


그림 4 다양한 부하변동 상황에서 제한하는 알고리즘이 적용된 interlinking 컨버터의 시뮬레이션 파형
Fig. 4 Simulation waveform of interlinking converter with proposed algorithm in the variable load conditions

4. 결론

본 논문은 액티브 댐핑 가상 저항 기법 중 하나인 피드백 기반의 방식을 Interlinking 컨버터의 전류 제어기에 적용하여 별도의 저항 없이도 LCL 필터의 공진을 완화시킬 수 있도록 제어기를 구성하였다. 전류 THD의 변화를 계산하고 이를 Moving Average 기법으로 계산하여 THD의 변화를 선형적으로 만든 후 제한하는 알고리즘을 적용시켜 가상 댐핑 저항 R_d 의 값을 알고리즘에 의해 결정한다. 이를 통해 부하 변동에 따른 액티브 댐핑의 최적 제어를 위한 제한하는 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이는 향후 액티브 댐핑 기법을 적용하기 위한 연구 개발 시 참고 자료가 될 것으로 사료 된다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2019381010001B)

참고 문헌

[1] Wessels, Christian, Jorg Dannehl, and Friedrich W. Fuchs. "Active damping of LCL-filter resonance based on virtual resistor for PWM rectifiers—Stability analysis with different filter parameters." 2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference. IEEE, 2008.