

디지털 필터를 이용한 LCL 필터용 능동 댐핑 기법

최성춘, 정두용, 지용혁, 송인범, 원충연
성균관대학교

Active Damping Method for LCL filter Using Digital filter

Seong Chon Choi, Doo Youg Jung, Young Hyok Ji, In Beom Song, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan Univ.

ABSTRACT

일반적으로 AC DC PWM컨버터에서 입력단에 LCL 필터를 사용한다. LCL 필터 경우 L, C의 공진현상 때문에 스위칭 주파수 선정과 LCL소자 파라미터 선정에 신중함이 요구된다. 시스템의 안정도에 문제가 된다. 본 논문에서는 공진 현상을 억제 시킬 수 있는 방법으로 디지털 저역통과필터 이용하여 능동댐핑 기법을 적용한 전류 제어기를 제안하였다. 시뮬레이션 통하여 제안된 기법의 타당성을 입증하였다.

1. 서론

전기 자동차는 배터리로부터 전력을 공급 받아 동력을 얻기 때문에 충전기는 필수적이다. 본 논문의 급속 충전기의 AC DC PWM 컨버터는 구동에 있어서 입력 전류의 THD를 계통 규약에서 제시하는 수치 이하로 낮추어야 하기 때문에 입력 필터가 필요하다. 여기서 입력필터 소자를 최소화 하는 것은 전체 시스템의 가격대 성능 비를 향상시키기 위한 매우 중요한 설계 요소이다. 수동 소자의 사이즈를 결정하는 것은 일반적으로 인덕터의 임피던스에 따라 크게 달라진다. 그렇기 때문에 LCL 필터를 사용하여 단일 인덕터 만을 사용하는 것에 비해 10% 크기만으로 같은 성능의 전류 리플 제거능력을 지닐 수 있다. 하지만 부가된 커패시터와 두 인덕터와의 공진 현상으로 인해 전류 제어기의 안정성이 보장되지 못한다.^[1] 그렇기 때문에 수동 저항 소자를 커패시터에 직렬로 연결하여 공진 현상을 억제 시키는 수동 댐핑(Passive damping) 기법이 사용 되어 왔다. 그러나 이 방법은 수 kW 이상의 시스템에서는 저항에 상당한 열이 발생되어 시스템의 효율을 저하시키는 요인이 된다.^[2] 본 논문에서는 전류 제어기 내부에 저역통과 필터를 추가하여 별도의 수동 소자나 센서 없이 공진성분을 제거해 줄 수 있는 새로운 능동 댐핑(Active damping) 기법을 제안한다.

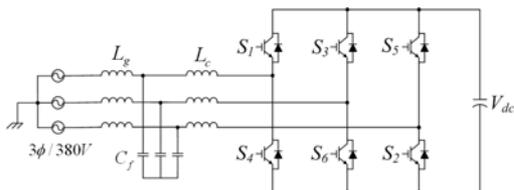


그림 1 3상 PWM 컨버터 시스템
Fig. 1 Three phase PWM converter system

2. 본문

2.1 LCL 필터 설계

본 논문에서 LCL 필터는 20kW 준급속 충전기 시스템을 기준으로 설계하였다.^[1] 시스템 크기를 줄이기 위하여 필터의 임피던스는 최소화 설계하는 것을 목표로 하고 있으며, 시스템의 스위칭 주파수는 10[kHz]로 결정하였다.

그림1 LCL 필터는 모델링을 통하여 전달함수를 구하면 식(1)과 같다.

$$\frac{i(s)}{v(s)} = -\frac{1}{sL} \frac{s^2 + 1/L_g C_f}{s^2 + (L_c + L_g)/L_c L_g C_f} \quad (1)$$

LCL 필터 설계에 앞서 필터 Base값이 필요하다. 각 Base값을 구하는 식은 다음과 같다.

$$Z_b = \frac{V_{LL}^2}{P}, L_b = \frac{Z_b}{\omega_b}, C_b = \frac{1}{\omega_b Z_b} \quad (2)$$

V_{LL} 선간전압의 실효값, ω_b 계통전원의 각주파수

$$\therefore Z_b = 7.22[\Omega], L_b = 19.15[mH], C_b = 367[\mu F]$$

L_c 값은 계통 주파수와 스위칭 주파수를 고려하여 THD가 10[%] 정도가 되도록 설계한다.

$$L_c = \frac{f_{grid}}{f_{sw}} \frac{L_b}{THD} \sqrt{\frac{\pi^2}{18} \left(\frac{3}{2} - \frac{4\sqrt{3}}{\pi} m_a + \frac{9}{8} m_a^2 \right)} \quad (3)$$

커패시터 값은 역률에 따라 달라진다. 본 논문에서는 역률 98% 이상이 되도록 설계한다.

$$C_f = x C_b \quad (\text{단, } x \text{ 무효전력분}) \quad (4)$$

$$L_g = r L_c \quad (\text{단, } r = \left| \frac{1/a + 1}{1 - L_c C_f \omega_{sw}^2} \right|) \quad (5)$$

여기서, r 는 전류 리플 감쇄율을 15[%]로 선정하여 0.5076로 결정함.

표 1 설계된 LCL 필터의 파라미터 값
Fig. 1 Parameter Value of designed LCL

파라미터	값
L_c	560[uH]
C_f	7.35[uF]
L_g	290[uH]

2.2 Active Damping

제한된 전류 제어기는 입력 전류의 공진 성분이 발생하면 기존의 전류 제어기에 공진 성분이 포함되는 것을 고려하여 디지털 저역통과 필터를 사용하여 공진 성분을 제거한다. 필터의 위치는 공진 성분이 제어기를 통하여 흐를 수 있는 경로를 고려하여 그림 2와 같이 구성 하였다. 그러나 전류 제어기 디지털 필터를 추가함으로써 동특성이 저하될 문제를 갖고 있기 때문에 부하의 변동이 작은 어플리케이션에 제한된다.

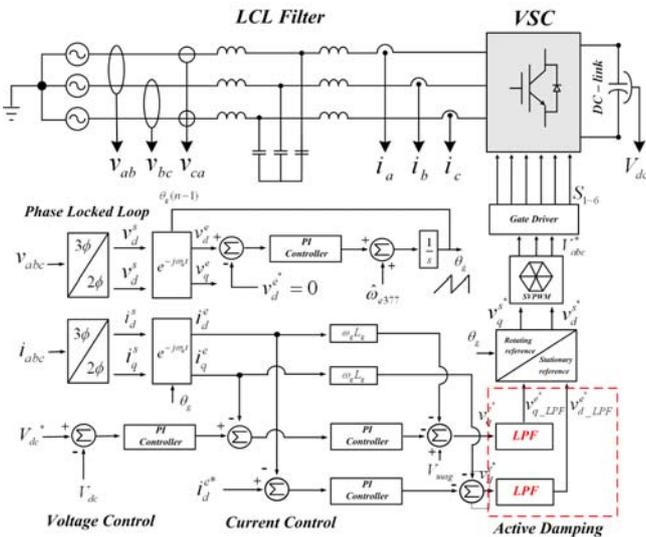


그림 2 시스템 제어 블록도
Fig. 2 System control block diagram

2.3 디지털 저역통과 필터 설계

디지털 저역통과 필터 차단 주파수가 LCL 필터의 공진 주파수의 보다 저주파에 가까우면 능동댐핑 성능이 향상되지만 저주파에서 위상 지연이 발생되기 때문에 전류 제어기의 안정도 문제가 생기게 된다. 반대로 차단 주파수가 공진 주파수에 가까워지면 공진 성분을 충분히 제거를 할 수 없기 때문에 두 가지의 Trade off를 감안하여 설계하여야 한다.

식(1)의 전달함수를 통하여 설계된 LCL 필터의 공진 극점(f_{r1})과 영점(f_{r2})을 각각 구할 수 있다.

$$f_{r1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L+L_g}{L_c L_g C_f}}, \quad f_{r2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_g C_f}} \quad (6)$$

식(6)을 이용하여 표 1에 LCL 필터의 공진 주파수를 구하면 4247[Hz] 계산된다. 본 논문에서는 시스템의 안정도를 감안하여 디지털 저역통과 차단 주파수를 2[kHz]로 결정하였다.

3. 시뮬레이션

그림 3은 0.3s에 능동 댐핑 기법을 전류제어기에 적용시켜 3상 입력전류의 공진 성분이 제거되는 것을 나타내었다. 그림 4에서는 각 능동 댐핑의 유무에 따라 입력 전류의 FFT 파형을 능동 댐핑의 유(아래), 무(위)따라 나타내어 제안된 능동 댐핑 기법의 성능을 확인 하였다.

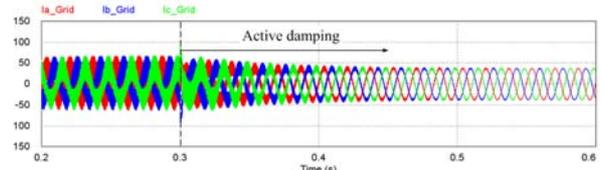


그림 3 3상 입력 전류 파형(0.3s 능동 댐핑 기법 적용)
Fig. 3 Three phase input current waveform

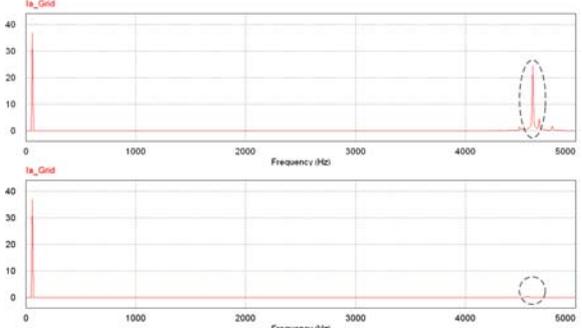


그림 4 입력 전류 FFT 분석
Fig. 4 FFT analysis of input current

4. 결론

본 논문에서는 급속 충전기 어플리케이션에서 사용되는 AC/DC PWM 컨버터의 전류제어기를 이용한 새로운 Active Damping 기법의 가능성을 제시 하였다. 제안된 전류 제어기를 이용할 경우 공진 주파수에 대한 디지털 저역 통과 필터의 차단 주파수를 선정하는데 있어서 유연성 또한 증가함을 알 수 있다. 제안된 기법은 시뮬레이션 통하여 증명하였으며, 향후 기존에 제작되어 있는 20kW 급속 충전기 시스템에서 수동 저항을 제거하여 제안된 능동댐핑 기법을 적용하여 실험을 통하여 증명할 예정이다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(2010T100200295)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] M. Liserre, F. Blaabjerg and S. Hansen. "Design and control of an LCL filter based active rectifier" IEEE Ind. Appl., Vol. 1, pp.297-307. Oct. 2001
- [2] 명홍제, 권준범, 최세완, 박가우 "대용량 계통연계형 연료전지 PCS의 LCL필터 설계와 공진 억제", 전력전자학술대회 논문집, 2008. 6, pp. 219-221