

모듈라 ESS용 인터리브드 DC-DC 컨버터의 전류 제어 방법

김완, 이광운
목포해양대학교

Current Control Strategy for Interleaved DC-DC Converters used in Modular ESS

Wan Kim, Kwang Woon Lee
Mokpo National Maritime University

ABSTRACT

본 논문에서는 모듈라 ESS에 사용되는 인터리브드 DC DC 컨버터의 평균 모델을 이용하여 제어 시스템을 설계함으로써 기존 소신호 모델 기반 제어의 동작점이 변동하는 경우 과도 응답 특성이 저하되는 단점을 개선하고자 한다. 또한, PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 제시된 설계방법의 우수성을 실증하고자 한다.

1. 서 론

단상 DC DC 컨버터의 변형된 형태인 다상 인터리브드 컨버터는 각 상으로 전류가 분배되기 때문에, 시스템 설계 시에 인덕턴스와 커패시턴스를 줄일 수 있어서 시스템을 구성하는 소자의 용량과 크기를 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 3상의 전류가 중첩되기 때문에 단상 컨버터보다 3배의 스위칭 주파수 효과를 볼 수 있는 장점이 있다.^{[1] [4]} 전력변환 시스템의 제어를 위해서는 모델링 과정을 거치게 되는데, 일반적으로 특정 동작 점에서만 유효한 소신호 모델로부터 전달함수를 구하고, 원하는 위상 여유 및 이득 여유를 만족하는 제어기를 설계하는 방식이 사용되고 있다. 하지만 기존의 소신호 모델 기반 제어 기법을 사용할 경우 동작점 변동에 따라서 제어기의 과도 응답 성능이 저하되는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 소신호 모델 기반 전력변환 시스템의 제어기 설계 기법의 단점을 해결할 수 있는 제어기 설계 방법에 관해서 연구하고자 한다.

2. 인터리브드 DC-DC 컨버터

2.1 인터리브드 DC-DC 컨버터의 구성 및 동작

3상 인터리브드 DC DC 컨버터의 구성은 그림 1과 같다. 승압을 위한 인터리브드 컨버터는 3개의 부스트 컨버터의 병렬연결이 되어있는 구조로 되어 있으며, 각 스위치는 120°의 위상차를 가지고 Q1, Q2, Q3 가 차례로 On/Off 되는 방식으로 작동한다. 이러한 동작으로 전압과 전류는 기존의 단상 DC DC 컨버터보다 3배의 주파수를 가져 전류의 리플을 저감시킨다. 또한 3개의 병렬구조로 인하여 입력전류가 1/3로 줄어들어 인덕터의 크기를 줄일 수 있으며 이로 인해 큰 전력을 사용하는 시스템에서의 비용을 줄일 수가 있다.

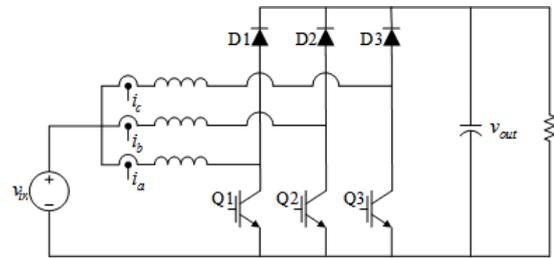


그림 1 인터리브드 DC-DC 컨버터
Fig. 1 Interleaved DC-DC converter

2.2 인터리브드 DC-DC 컨버터의 평균모델 기반 제어

인터리브드 DC DC 컨버터의 각각의 인덕터에 흐르는 전류가 연속일 때 인덕터에 걸리는 평균 전압 $\langle v_L \rangle$ 은 다음과 같다.^[5]

$$\langle v_L \rangle = v_i - v_o(1 - \frac{T_{on}}{T_s}) = v_i - v_o(1 - D) \quad (1)$$

식 (1)에서 T_s 는 주기, T_{on} 은 스위칭 소자의 통전시간, D 는 PWM 시비율을 의미한다.

$$D = \frac{v_{out} - v_{in} + \langle v_L \rangle}{v_{out}} \quad (2)$$

또한, 식 (1)을 식 (2)와 같이 정리하였을 때 인덕터의 평균 전압 $\langle v_L \rangle$ 을 선형적으로 제어할 수 있다.

그림 1에서 정상 상태 조건을 고려할 때 인덕터의 평균 전류 $\langle i_L \rangle$ 과 커패시터의 평균 전류 $\langle i_C \rangle$ 의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$\langle i_C \rangle = \frac{v_{out}}{v_{in}} \langle i_L \rangle - \langle i_{out} \rangle \quad (3)$$

전압 제어기에서 커패시터 전류지령을 출력하고, 식 (3)로부터 인덕터 전류 제어 지령을 구하여 전류 제어를 수행하면 커패시터 전압 제어기의 구성은 그림 2와 같이 간략화 된다.

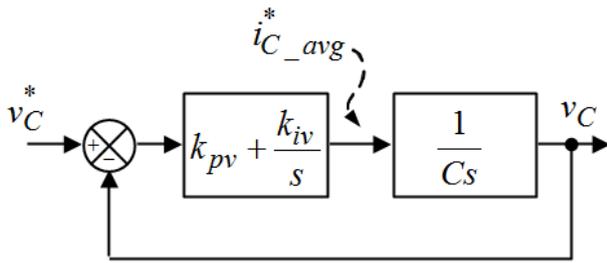


그림 2 평균 모델 기반의 간략화된 전압 제어기
Fig. 2 Average model based simplified voltage controller

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

제시된 평균모델 기반 제어방법의 특성을 평가할 목적으로 그림 3과 같이 PSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 3에서 인덕터는 10mH, 캐패시터는 470uF, 입력전압은 20V이며, 출력 전압은 50V로 제어하였다. PWM 주파수는 10kHz, 전류 및 전압 제어기 대역폭은 각각 100Hz, 10Hz로 설정하였다. 그림 4의 시뮬레이션 결과를 보면 지령 전압에 대한 응답을 확인할 수 있다.

제시된 제어방법을 실증할 목적으로 실험을 진행하였다. DSP TMS320F28335를 이용하여 제어기를 구성하였다. 사용된 수동소자와 제어조건 및 방법은 시뮬레이션과 동일하다.

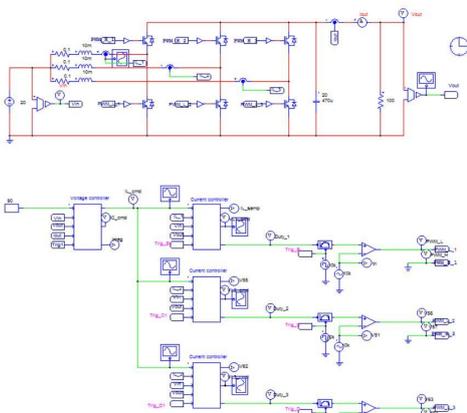


그림 3 시뮬레이션 회로 구성
Fig. 3 Circuit configuration for simulation

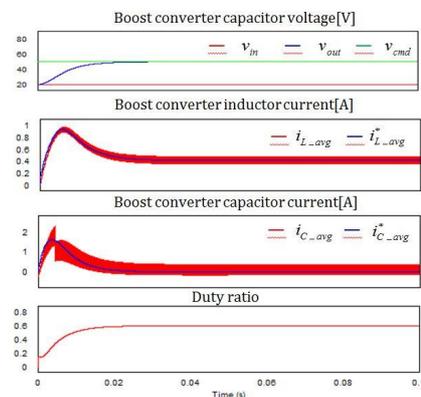


그림 4 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation Result

그림 5의 실험 결과는 시뮬레이션 결과와 같은 결과를 보인다.

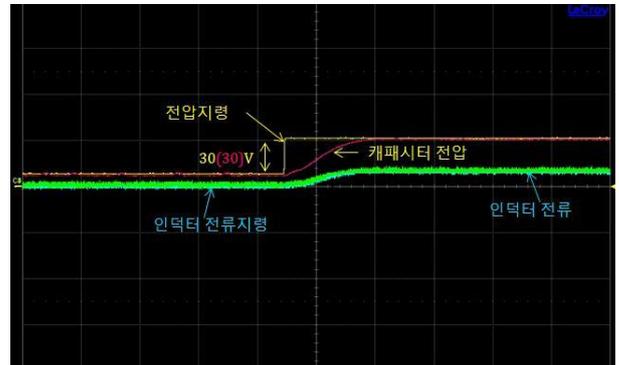


그림 5 실험 결과 (200ms/div.) 전압 지령과 응답 (50V/div.), 전류 지령 및 응답 (1.2A/div.)

Fig. 5 Experimental Result (500ms/div.) voltage reference and response (50V/div.), current reference and response (1.2A/div.)

4. 결론

본 논문에서는 인터리브드 DC DC 컨버터의 평균모델을 이용하여 제어하는 방법을 제시하였고, 시뮬레이션 및 실험을 통해 제시된 방식의 특성을 평가하였고 제시된 방식은 기존 소신호 모델 기반 제어에 비해 동작점 변동에 강인하다.

제안된 방식은 인덕터의 평균 전압을 제어하는 수단으로 사용하기 때문에 DCM(discontinuous conduction mode)에서 동작하는 경우에는 제안된 방식으로 원하는 특성을 얻을 수 없는 단점이 존재하며, 앞으로 이에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20162010104490)

참고 문헌

- [1] 최대근, 이교범. "다상 인터리브드 DC/DC 컨버터를 위한 모델기반의 예측 제어기법." 전력전자학회 논문지, vol.19, No. 5, October. 2014.
- [2] Michael O'Loughlin, "An Interleaving PFC Pre Regulator for High Power Converters", Texas Instruments. Topic
- [3] John Betten, Robert Kollman, "Interleaving dc dc converters boost efficiency and voltage", Texas Instruments. EDN, pp. 78, 84, 2005, October.
- [4] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of three phase improved power quality ac dc converters," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 51, No. 3, pp. 641 660, Jun. 2004.
- [5] K. Lee, T. Kim, "Operating point insensitive voltage control of the Z source inverter based on an indirect capacitor current control", IET Power Electron., vol. 8, no. 8, pp. 1358 1366, Aug. 2015.