

반복제어기를 적용한 ESS용 PFC 컨버터

강현지, 김재현, 이세빈, 전용규, 조영훈
 건국대학교

PFC converter for ESS with repetitive controller

Hyunji Kang, Jaehyun Kim, Sebin Lee, Yongkyu Jeon, Younghoon Cho
 Konkuk University

ABSTRACT

최근 환경과 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지면서 ESS 시스템의 연구와 시장이 증가하고 있는 추세이다. ESS의 경우 인버터와 컨버터를 사용하여 배터리를 충·방전을 한다. 컨버터의 제어는 주로 PI제어기를 사용 하는데 이는 전류 왜곡을 포함하는 단점이 있다. 본 논문에서는 반복제어기를 적용하여 PFC(Power Factor Correction) 컨버터의 전류 왜곡을 최소화 하였으며, 기존의 알고리즘을 사용했을 때보다 오차가 감소되는 결과를 확인할 수 있었다.

1. 서론

환경문제와 경제적 문제로 에너지 저장 장치에 대한 관심과 수요가 높아지면서 이에 따른 장치의 성능을 높이기 위한 연구가 더불어 이루어지고 있다. ESS에서 배터리를 충·방전하는 컨버터는 주로 PI제어기를 이용하여 제어를 한다. 이는 대역폭의 한계가 있으며 외란의 보상이 잘 이루어지지 않는다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 외란을 반복적으로 보상하여 제어를 하는 반복제어기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1] 본 논문에서는 기존의 PI제어기에 반복제어기를 추가하여 성능을 높인 단상 부스트 PFC 컨버터를 제안하여 분석하고, 시뮬레이션을 통해 성능을 검증한다.

2. 반복제어기를 적용한 Boost PFC Converter

2.1 PI제어기와 반복제어기 설계

그림 1은 ESS에 들어가는 단상 부스트 PFC 컨버터이다. 입력단 다음에 다이오드 정류기가 연결되고 그에 직렬로 부스트 컨버터가 연결되어 입력전류와 출력전압을 제어한다. 전류를 제어하기 위해 일반적으로 PI제어기를 주로 사용한다. 그러나 기존의 PI제어기로는 대역폭의 한계가 존재하므로 오차를 0으로 수렴하게 하는데 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 기존의 PI제어기에 반복제어기를 추가로 더한다. 반복제어기는 IMP(internal model principle) 정리에 근거한 제어기이다. 따라서 반복제어기의 입력에 관한 모델을 반복제어기가 포함하고 반복제어기의 안정도가 보장된다면, 출력전압 왜곡에 대해 완벽히 보상 할 수 있다. 반복제어기를 추가한 블록도를 그림 2에 나타내었다.

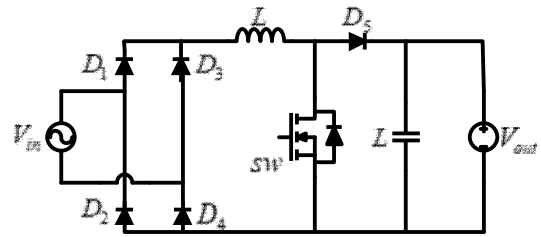


그림 1 단상 부스트 PFC 컨버터 회로구조
 Fig. 1 Topology of single phase Boost PFC Converter

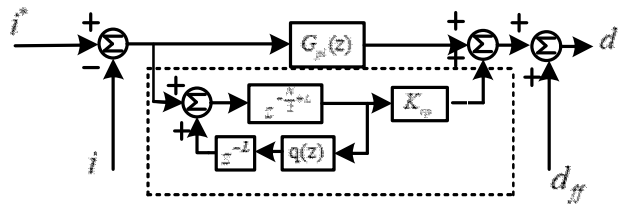


그림 2 반복제어기를 포함하는 전체 제어구조
 Fig. 2 The overall structure of control system with repetitive Controller

그림 1의 단상 부스트 컨버터의 인덕터 전류모델은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 주 제어기인 PI제어기는 식 (2)와 같이 표현되며, 식 (1)과 식 (2)를 통해 제어 시스템의 개루프 이득 전달함수를 구할 수 있으며 이는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{id} = \frac{V_{out}}{sL} \quad (1)$$

$$G_{pi} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (2)$$

$$T_i = G_{id} * G_{pi} \quad (3)$$

$$d_{ff} = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (4)$$

$$q(z) = \frac{z+2+z^{-1}}{4} \quad (5)$$

$$H(z) = q(z) - K_{rp}z^L \frac{G_{id}(z)}{1 + T_i(z)} \quad (6)$$

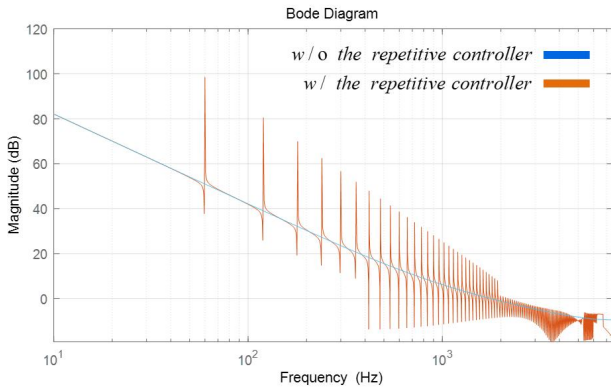


그림 3 개루프 이득 전달함수 보드선도
Fig. 3 Bode plot of openloop gain transfer function

반복제어기 적용에 있어서 적절한 안정화 필터를 사용할 경우 보다 안정하고 우수한 성능을 가지는 제어기를 구현할 수 있다. 따라서 보편적으로 쓰이는 안정화 필터 $q(z)$ 를 저역통과 필터로 선정하였으며 이를 식 (5)에 나타내었다. 설계한 반복제어기가 안정한 영역 내에서 동작할 수 있도록 식 (6)에 나타낸 $H(z)$ 가 단위원 내부에 포함되게 한다. 반복제어기의 이득값인 k_{rp} 에 따라 안정도가 변하기 때문에, 이득에 따른 $H(z)$ 를 나이키스트 선도로 표현하였다. k_{rp} 가 0.01, 0.02, 0.03일 때를 살펴 보았고, 이를 [그림 4]에 나타내었다. 본 논문에서는 $k_{rp}=0.01$ 일 때를 선정하였다.^[2]

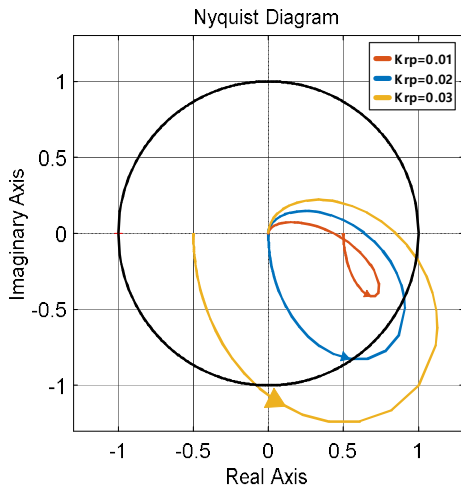
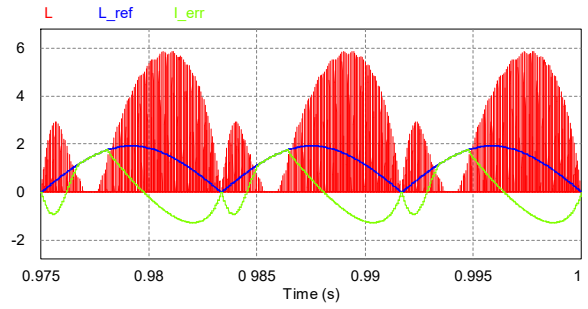


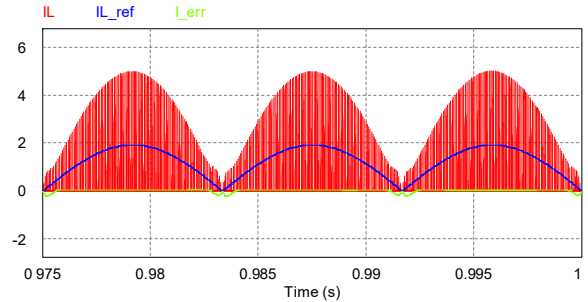
그림 4 이득에 따른 $H(z)$ 의 나이키스트 선도 결과
Fig. 4 Nyquist plot of $H(z)$ for different gain

2.2 모의실험 결과

PI제어기만을 사용했을 때와 비교하여 반복제어기를 추가한 Boost PFC Converter의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 실시했다. 회로의 제반 사항은 다음과 같다; 입력 전압 60Hz 220VAC, 출력전압 500VDC, 최대출력 300W, 스위칭 주파수 15kHz이다. 시뮬레이션 결과는 그림 5와 같다. 그림5.(a)와 그림5.(b)를 비교해보면 반복제어기를 적용했을 때 전류제어가 더 잘 되며 전류의 오차가 0으로 수렴하는 것을 알 수 있다.



(a) PI제어기를 이용한 모의실험 결과



(b) 반복제어기를 이용한 모의실험 결과

그림 5 모의실험 결과

Fig. 5 Waveform of simulation

3. 결론

본 논문에서는 반복제어기를 적용한 단상 Boost PFC Converter를 제안하였다. 기존의 PI제어기에 반복제어기를 추가적으로 적용함으로써 외란으로 인한 오차의 발생을 줄여 성능을 높였다. 이 제어기의 성능은 시뮬레이션을 통해 PI제어기만 사용했을 때와 반복제어기를 추가로 적용했을 때를 비교하여 검증하였다.

이 논문은 2018학년도 정부(교육부)의 산업연계 교육활성화 선도대학(PRIME) 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

- [1] Younghoon Cho, Student Member, IEEE, and Jih Sheng (Jason) Lai, "Digital Plug In Repetitive Controller for Single Phase Bridgeless PFC Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 1, pp. 2 5, 2013, January
- [2] Zhang M, Huang L, Yao W, Lu Z, IEEE transactions on power electronics, "Circulating Harmonic Current Elimination of a CPS PWM Based Modular Multilevel Converter With a Plug In Repetitive Controller", Vol.29 No.4, [2014]