

# 낮은 스위칭 주파수를 갖는 대용량 무정전전원장치를 위한 협대역 전압제어기 설계

윤춘기, 조영훈, 임승범<sup>1</sup>  
 건국대학교 전력전자 연구실, (주)이온<sup>1</sup>

## Design of Narrowband Voltage Controller for Large Capacity Uninterruptible Power Supply with Low Switching Frequency

Chun gi Yoon, Younghoon Cho, Seung beom Lim<sup>1</sup>  
 Power electronics lab, Konkuk Univ., EON<sup>1</sup>

### ABSTRACT

This paper presents narrowband voltage controller for large capacity UPS system with low switching frequency. The proposed controller is repetitive controller applicable to low sampling. The controller reduces the control error for nonlinear load and improve efficiency. The proposed controller is verified through the experiment using 40kW UPS inverter.

### 1. 서론

UPS 인버터는 안정적인 전력공급을 위해서 일정한 전압, 주파수의 출력이 필수적이다. 하지만 실제 대부분 부하는 비선형성을 가지고 있으며 기생성분들로 인하여 출력전압 THD의 안정성이 보장되지 않는다. 이에 출력전압의 THD를 높이며 비선형부하에서의 안정성 향상을 위하여 기존의 PI제어기에 반복제어기를 적용시킨 제어기를 제안한다. 낮은 스위칭 주파수의 일체형 대용량 UPS에 반복제어기를 적용시킨 제어기를 사용함으로써 인버터 제어기의 대역폭을 늘리고 과도상태, 정상상태에서의 제어성능을 개선시킬 수 있다.

### 2. 제안하는 인버터 제어기 설계

기존 제어기중 가장 보편적인 제어기는 내곽에 전류제어기, 외곽에 전압제어기를 가지는 다중루프 제어기이다. 이 중 PI제어기는 가장 간단한 구조를 가지고 있으며 오차를 효과적으로 제거할 수 있는 제어기법이다. 본 논문에서는 저주파 스위칭을 가지는 UPS 인버터의 전압 THD를 개선하기 위하여 반복제어기를 추가한 제어기를 제안한다. 기존의 PI제어기의 전압제어기에 반복제어기를 병렬로 연결함으로써 전압오차를 줄이며 전압제어기의 성능을 증가시킬 수 있다.

그림 2는 반복제어기를 추가한 인버터 제어기의 블록도이다.[2] 반복제어기는 전압오차를 입력으로 하며 결과값을 전류지령치에 더해주는 구조를 가지며 반복제어기의 전달함수는 식(4)와 같다.[1]

$$G_{rp}(z) = K_{rp} \frac{z^L}{z^{N/2} - q(z)} \quad (4)$$

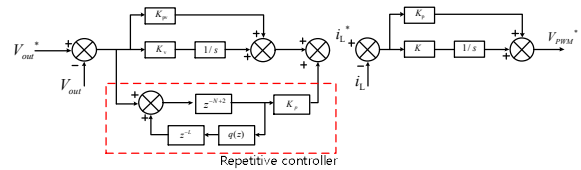


그림 1 반복제어기가 추가된 제어기 블록도  
 Fig. 1 Diagram of controller with repetitive controller

반복제어기는  $K_{rp}$ ,  $q(z)$ ,  $N$ ,  $L$ 의 변수들로 구성되어 있으며 각각 반복제어기 이득, 안정화 필터 전달함수, 한 주기 안의 샘플수, 위상지연의 샘플 수이다.  $K_{rp}$ 를 조절하여 제어기 효과를 조절할 수 있으며 0 ~ 1사이의 값이 될 수 있다. 디지털 제어시 발생하는 시지연 문제를  $z^{-L}$ 로 보상할 수 있다.  $q(z)$ 는 상수로 사용가능하지만 저역통과 필터를 사용할 수도 있다. [2],[3] 이 인버터의 스위칭 주파수는 6kHz이므로  $N=6000/60=100$ 로 놓을 수 있다. 대용량 UPS의 경우 소자의 정격 등으로 인하여 스위칭이 낮은 경우가 많으며 그로 인하여 제어기의 대역폭이 낮다. 하지만 제안한 제어기를 적용시 전압제어기의 대역폭을 높일 수 있으며 그로 인하여 제어기의 안정성을 확보할 수 있다. 일반적으로 반복제어기는 스위칭 주파수가 클수록 높은 효율을 나타내지만 저주파 스위칭에서도 그 효과를 얻을 수 있다.[3]

### 3. 시뮬레이션

시뮬레이션을 통하여 제어기의 성능을 검증하였다. 시뮬레이션에 앞서 시뮬레이션 제정수는 표 1과 같으며 시뮬레이션 블록도는 그림 3과 같다.

표 1 시뮬레이션 제정수  
 Table 1 Simulation parameters

$V_{dc}$	760 V	$L$	1mH
$V_{out}$	220 $V_{rms}$	$C$	150uF
$P_{out}$	6kW	$f_{su}$	6kHz

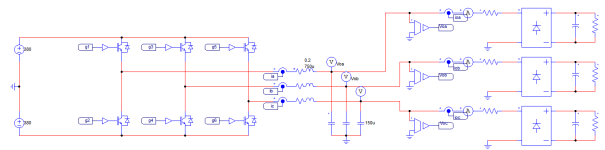


그림 2 T type 인버터 시뮬레이션 블록도  
 Fig. 2 T type inverter simulation diagram

인버터는 T type 3레벨 인버터로 시뮬레이션을 진행하였으며 부하로는 다이오드, 커패시터, 저항으로 이루어진 비선형 부하를 모델링하여 인가하였다. 그림 3은 시뮬레이션 제어기 구조이다. 전압, 전류제어기는 기본적인 PI제어기를 사용하여 구성하였으며 반복제어기를 전압제어기에 병렬로 연결하여 낮은 스위칭 주파수에서도 출력전압 THD 개선효과를 가지는 협대역 전압제어기를 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 반복제어기 적용전 출력전압의 THD는 3.5%, 적용후 THD는 1.7%로 약 18%의 THD개선 효과를 나타냈으며 낮은 스위칭 주파수에서도 반복제어기의 효과가 나타남을 확인하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 4, 5와 같다. 그림 4의 출력전압에서 알 수 있듯이 출력전압의 왜곡이 줄어드는 것을 확인하였으며 그림 5의 전압오차 또한 크기가 20V에서 17V로 줄어들었음을 확인하였다.

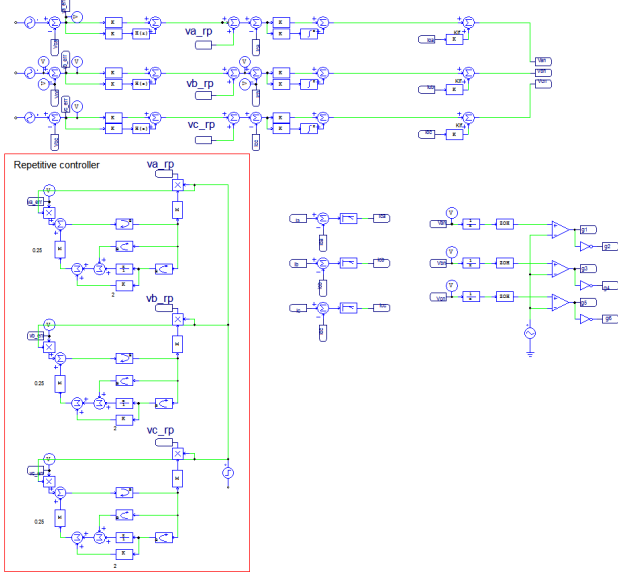


그림 3 제어기 시뮬레이션 블록도  
Fig. 3 Controller simulation diagram

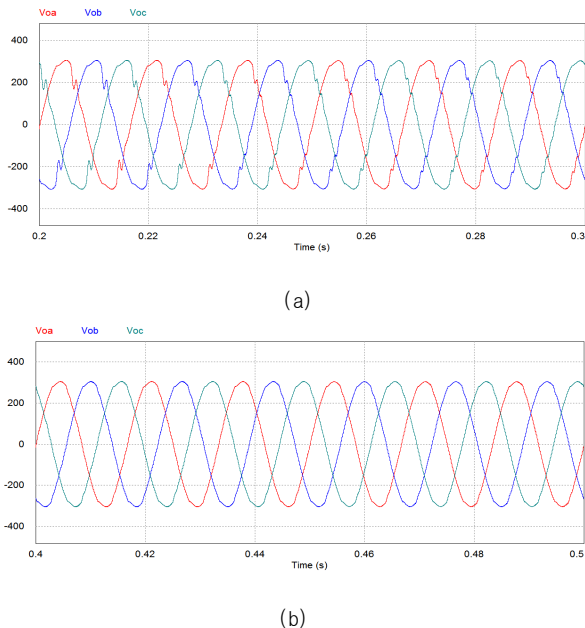
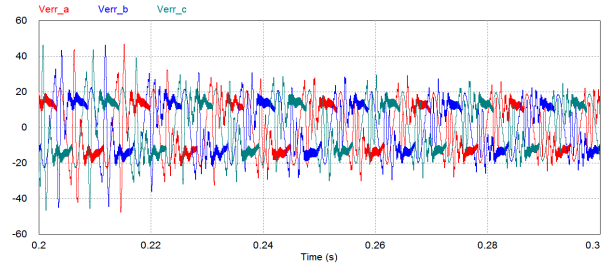
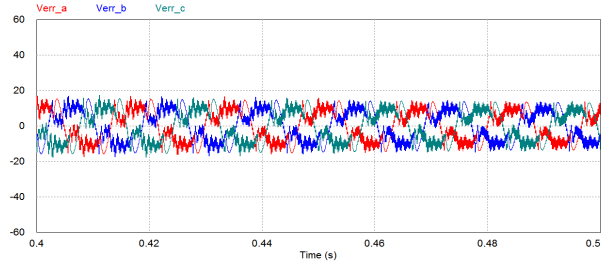


그림 4 반복제어기 적용전(a), 적용후(b) 출력전압 파형  
Fig. 4 waveform of output voltage without(a) and with(b) the repetitive controller



(a)



(b)

그림 5 반복제어기 적용전(a), 적용후(b) 출력전압오차 파형  
Fig. 5 waveform of output voltage error without(a) and with(b) the repetitive controller

## 5. 결론

낮은 스위칭 주파수를 갖는 UPS 인버터의 제어성능을 향상시키기 위하여 반복제어기가 추가된 제어기를 제안하였으며 시뮬레이션과 실험을 통해 그 효과를 검증하였다. 특히 비선형 부하일수록, 정격전력으로 갈수록 제어기의 성능이 더 좋아짐을 확인할 수 있었다. 차후 THD의 개선효과를 증가시키기 위하여 반복제어기의 정확한 설계 연구가 필요하다.

본 연구는 중소기업청의 구매조건부신제품개발사업의 일환으로 수행되었습니다. (No. S2201308)

## 참고 문헌

- [1] Bunyamin Tamyurek, "A High Performance SPWM Controller for Three Phase UPS Systems Operating Under Highly Nonlinear Loads", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 28, Issue 8, pp. 3689 3701, 2013.
- [2] G. Escobar, A. A. Valdez, J. Leyva Ramos, and P. Mattavelli, "Repetitivebased controller for a UPS inverter to compensate unbalance and harmonic distortion", IEEE Trans. Ind. Electronics, vol. 54, no. 1, pp. 504 510, Feb. 2007.
- [3] Younghoon Cho. Jih Sheng Lai, "Digital Plug In Repetitive Controller for Single Phase Bridgeless PFC Converters", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 28, Issue 1, pp. 165 175, 2013.