

# 무정전 전원장치를 위한 홀수고조파 반복제어기의 설계

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

## Design of Odd Harmonic Repetitive Controller for Uninterruptible Power Supply

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

### ABSTRACT

This paper presents an odd harmonic repetitive controller for single phase UPS inverters. The proposed repetitive controller achieves the low output voltage THD and reduces the steady state error by eliminating odd harmonic distortions caused by nonlinear and unbalanced loads. The proposed control scheme is verified through experiment using a 5kW single phase T type inverter.

### 1. 서론

일반적인 UPS 시스템에서 인버터는 UPS의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이며 이에 따라 안정적인 제어성능을 위한 제어기들이 많이 연구되고 있다. UPS 인버터는 통상적으로 60Hz의 일정한 주파수를 출력으로 하고 있으므로 본 논문에서는 전압제어기로 PR제어기를, 전류제어기로 PI제어기를 사용하였다. 또한 이 PR PI제어기의 한계인 대역폭과 출력전압 오차 제거를 위하여 반복제어기를 적용시킨 제어기를 제안하였다. 반복제어기는 반복되는 오차를 제거해주는 특성을 가지고 있으므로 전압의 THD를 개선시킬 수 있으며 출력에 포함된 홀수 고조파를 제거하는 효과를 가진다. 제안한 제어기의 성능을 확인하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 진행하였으며 홀수고조파 제거 효과를 확인하였다.

### 2. 기존 제어기 설계

#### 2.1 기존 인버터 제어기 설계

##### 2.1.1 전압제어기 설계

정상상태 추종성능을 결정하는 외곽루프의 전압제어기는 UPS 인버터의 특성상 주파수가 60Hz로 일정하므로 공진주파수에서 큰 이득값을 가지는 PR제어기로 설계한다. 이때 PR제어기의 전달함수는 (1)과 같다.

$$G_{vc}(s) = (K_{pv} + K_{rv} \times \frac{2 \times \omega_b \times s}{s^2 + 2\omega_b \times s + \omega_o^2}) V_{err} \quad (1)$$

식(1)에서  $K_{pv}$ 와  $K_{rv}$ 는 각각 비례이득, 공진이득이며  $\omega_o$ 는 60Hz에 해당하는 377rad/s,  $\omega_b$ 는 감쇠비이다.

##### 2.1.2 전류제어기 설계

부하와 외란에 대한 동특성을 결정하는 내곽루프의 전류제어기는 PI제어기로 구성한다. PI제어기의 전달함수는 식(2)와 같으며  $K_{pc}$ 와  $K_{ic}$ 는 각각 비례이득, 적분이득이다. 제어기를 저역통과필터의 성분을 가지도록 설계하여 이득값을 설정한다. 여기서 제어기 주파수 대역  $\omega_n$ 은 스위칭 주파수의 1/10인 2.4kHz, 감쇠비( $\zeta$ )는 1,  $L = 900\mu H$ 이다.

$$G_{cc}(s) = \frac{I_L}{I_L^*} = \frac{K_{pc} \cdot s + K_{ic}}{L \cdot s^2 + K_{pc} \cdot s + K_{ic}} \quad (2)$$

$$K_{pc} = 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot L \quad (3)$$

$$K_{ic} = \omega_n^2 \cdot L \quad (4)$$

### 3. 제안하는 제어기 설계

본 논문에서는 2.1에서 설계한 다중루프제어기에 플러그인 타입의 반복제어기를 추가하여 인버터 출력전압의 오차를 줄이며 홀수고조파를 제거해 THD를 낮출 수 있는 제어기를 제안한다. 반복제어기가 추가된 제어기 블록도는 그림 1과 같다.

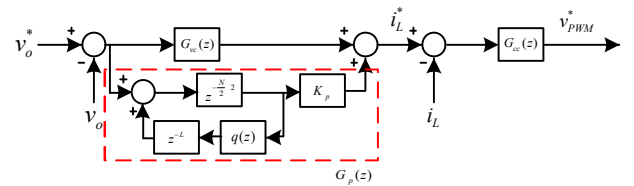


그림 1 반복제어기가 추가된 인버터 제어기 블록도  
 Fig. 1 Diagram of inverter controller with the repetitive controller

반복제어기는 전압오차를 입력으로 받아 제어기 연산을 거쳐 전압제어기 출력과 합쳐진다. 반복제어기는 반복되는 오차를 추정하여 보상해줌으로써 전류제어기의 대역폭을 높일 수 있으며 주기적인 정상상태 오차를 가지는 시스템을 정확하게 제어할 수 있다. 반복제어기의 전달함수는 식(5)와 같다.[1][2]

$$G_{rp}(z) = K_{rp} \frac{z^L}{z^{N/2} - q(z)} \quad (5)$$

위 블록도와 전달함수  $G_{rp}(z)$ 의 변수  $K_{rp}$ ,  $q(z)$ ,  $N$ ,  $L$ 은 각각 반복제어기 이득, 안정화 필터 전달함수, 한 주기 안의 샘플 플수, 위상지연의 샘플 수이다.  $K_{rp}$ 를 조절하여 반복오차 제거 정도를 조절하고  $z^{-L}$ 로 시지연 문제를 보상할 수 있다.  $q(z)$

는 1보다 작은 상수로 놓고 사용가능하며 저역통과 필터를 사용할 수도 있다. 이 인버터의 스위칭 주파수는 24kHz이므로  $N=24000/60=400$ 로 놓을 수 있다.[2]

#### 4. 시뮬레이션

제한한 제어기의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 실시하였으며 PSIM을 이용하였다. T type 인버터의 제어기 구조와 시뮬레이션 제정수는 아래의 표1과 같다.

표 1 시뮬레이션 제정수  
Table 1 Simulation parameters

$V_{dc}$	760 V	$L$	900uH
$V_{out}$	220 V <sub>rms</sub>	$C$	10uF
$P_{out}$	3.5kW	$f_{sw}$	24kHz

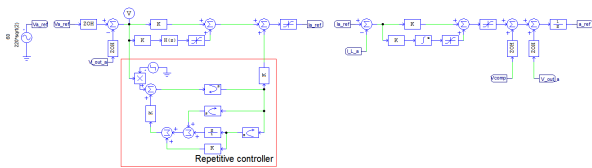


그림 2 인버터 제어기 구조  
Fig. 2 Inverter controller Structure

시뮬레이션 결과는 아래의 그림3과 같다. 반복제어기 적용전 출력전압의 THD가 0.87%이었으며 반복제어기 적용후 0.55%로 0.3%의 개선효과가 있었다. 실제 시스템에서는 기생 커패시터와 기생 인덕터 성분으로 인한 전압제어기의 대역폭이 더 낮아지므로 반복제어기의 효과는 더 커질 수 있다.

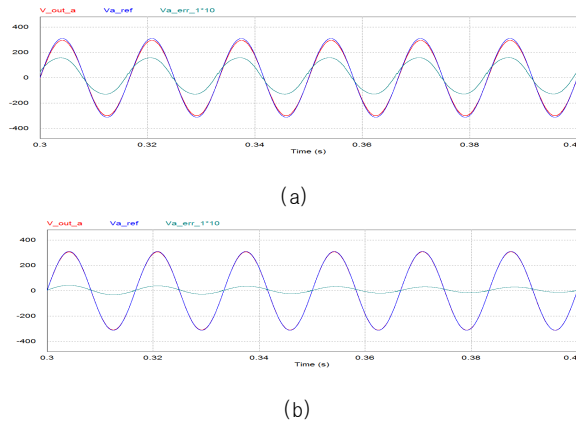
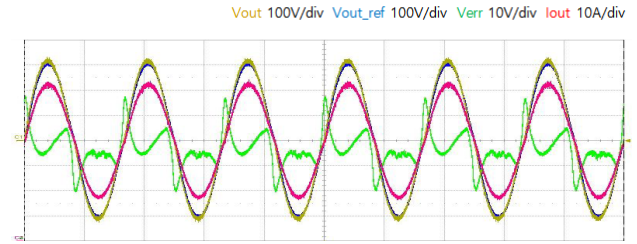


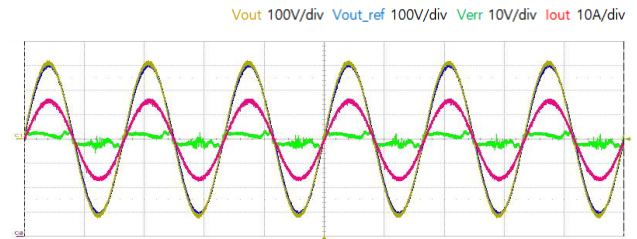
그림 3 반복제어기 적용전(a), 적용후(b) 출력전압 파형  
Fig. 3 waveform of output voltage without(a) and with(b) the repetitive controller

#### 5. 실험

실험은 3kW 프로토타입 단상 T type인버터를 사용하여 진행하였다. 전압 THD는 FLUKE 사의 435SERIESII를 이용하여 측정하였으며 실험파형은 아래의 그림 4와 같고 THD는 그림 5에 나와 있다. 실험결과 그림 4의 전압오차가 반복제어기 적용후 피크값 10V에서 2V로 현저히 줄었으며 THD분석 결과 2.9%에서 0.5%로 약 2.4%의 THD개선 효과가 있었다. 또한 3고조파 성분의 크기가 2.3에서 0.2로 크게 낮아지며 홀수고조파 제거효과를 확인하였다.



(a)



(b)

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

고조파 테이블		고조파 테이블	
Uolt	Pwr	Uolt	Pwr
H3%r	2.3	7.5	3.4
Uolt	A	Uolt	A
H4%r	0.2	2.4	2.5
Uolt	A	Uolt	A
H5%r	1.3	6.4	2.4
Uolt	A	Uolt	A
H6%r	0.2	2.5	2.6
Uolt	A	Uolt	A

(a)

(b)

그림 5 반복제어기 적용전(a), 적용후(b) 출력전압 홀수고조파 성분  
Fig. 5 Output voltage odd harmonic components without(a) and with(b) the repetitive controller

#### 5. 결론

본 논문에서는 UPS 인버터의 홀수고조파 제거를 위한 반복제어기를 추가한 PR PI제어기를 제안하였다. 시뮬레이션과 실험을 진행한 결과 약 2.4%의 THD개선 효과가 있었으며 차후 더 높은 스위칭 주파수와 정격에서 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 일환으로 수행되었습니다. (No. S2222196)

#### 참고 문헌

[1] Costa Castello, R. Grino. Fossas. E, "Odd harmonic digital repetitive control of a single phase current active filter", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 19, Issue 4, pp. 1060 1068, 2004

[2] 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,