

낮은 스위칭 주파수를 갖는 대용량 무정전 전원장치를 위한 반복제어기

이태영, 조영훈, 김지수*, 변용섭*
 건국대학교 전력전자연구실, (주) 이온*

Repetitive Controller for High Power UPS System with Low Switching Frequency

Taeyeong Lee, Younghoon Cho, JISU KIM*, YONGSEOP BYEON*
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ., EON*

ABSTRACT

This paper introduces a repetitive controller in low switching frequency applications. Generally, A high power UPS system has a high rated current. And the system usually consist of high power IGBT has a tail current. So the high power UPS system operates in low switching frequency because of this tail current. The repetitive controller improve THD of output voltage or current by reducing the steady state error. The effect of the repetitive controller is proved by simulations.

1. 서론

최근 2011년 9월 15일 대규모 정전 사태에 의해 무정전 전원장치(UPS)에 대한 관심이 증가하였고, 이에 대한 연구 또한 활발히 진행되어왔다. 연구가 진행됨에 따라 점점 따라 UPS의 용량은 점점 대용량화 되어왔다. 대용량화로 연구가 진행된 UPS의 주된 관심은 출력 전압의 THD와 효율 등 전력 품질 개선에 중점을 두기 시작했다. 대용량 UPS는 작은 출력 필터 인덕턴스와 낮은 스위칭 주파수로 출력 전압 및 전류 제어의 어려움이 있다. 반복되는 정상상태 오차를 줄여 출력 전압 THD를 개선 시킬 수 있는 반복제어기를 적용하여 본 연구를 진행하게 되었다. 시뮬레이션을 통하여 반복 제어기의 적용 전후를 비교하여 향상됨을 확인하였다.

2. 본론

2.1 대용량 UPS 회로

본 연구에서 반복 제어기를 적용하기 위한 대용량 UPS 시스템의 회로는 3상 3레벨 T-형 인버터이다. 3상 T-형 인버터는 총 12개의 IGBT소자로 구성되고, 출력 필터로 LC 필터를 적용하였다. UPS의 인버터 부분의 토폴로지는 그림 1에서 확인 가능하다.

대용량 UPS의 높은 전력 정격을 충족하기 위하여 전류 정격이 높은 IGBT를 사용한다. IGBT의 특성상 tail current에 의해 일정 테드타임이 보장되어야하고, 전류 정격이 높은 소자일 수록 가용 스위칭 주파수는 일반적으로 낮다. 따라서 출력 전압 및 출력 전류의 리플이 크기 때문에 LC 필터의 필터링 효

과가 커야한다. 하지만 높은 전류 정격에 큰 인덕턴스를 가지는 인덕터를 설계하기에 부피가 커지기 때문에 전력 밀도 측면에서 불리하다.

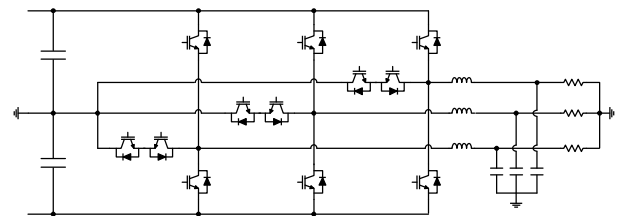


그림 1 3상 3레벨 T-형 인버터 토폴로지
 Fig. 1 A topology of 3-phase 3-level T-type inverter

2.2 제어기 설계

UPS의 출력 전압 및 출력 전류 제어를 위해 전압 제어기와 전류 제어기를 cascade 구조로 설계하였다. cascade 구조에서 출력 전압의 오차를 0으로 제어하기 위한 전압 제어기의 출력은 내곽 루프에 있는 전류 제어기의 지령 값으로 입력되고, 전류 제어기의 출력은 인버터의 PWM 지령으로 출력 된다.

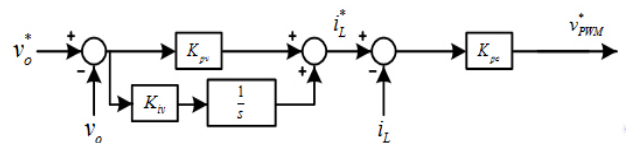


그림 2 인버터 전압-전류 제어기 블록도
 Fig. 2 A block diagram of voltage-current controller of inverter

그림 2에서 확인할 수 있듯이 출력 전압은 일반적으로 쓰이는 PI(비례적분) 제어기로 전압 제어기를 구성하였고, 전류 제어기는 P(비례) 제어기로 구성하였다.

2.3 반복 제어기

본 논문에서는 2.1에서 설계한 cascade 구조의 제어기 중 전압 제어기에 플러그인 타입의 반복 제어기를 적용하는 구조로 설계하였다. 반복 제어기는 전압 제어기에 적용되어 출력 전압의 정상 상태 오차를 줄여 주어 지령 값에 대한 추종 성능 향상 및 출력 전압 THD 개선이 가능하다. 그림 3은 플러그인 타입의 반복제어기 블록도이다.

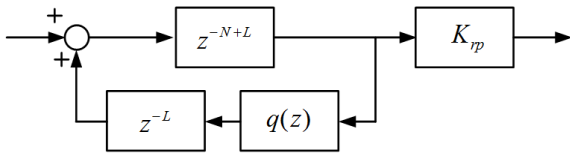


그림 3 반복 제어기 블록도
Fig. 3 A block diagram of repetitive controller

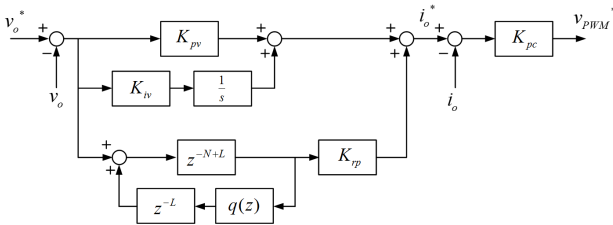


그림 4 반복 제어가 적용된 인버터 제어기 블록도
Fig. 4 A block diagram of inverter controller plugged in repetitive controller

그림 3에서 확인할 수 있는 변수 N , L , $q(z)$, K_{rp} 는 각각 한 주기에 대한 샘플 개수, 위상 지연 샘플 개수, 안정화 필터, 반복 제어기의 이득이다. 한 주기에 대한 샘플 개수 N 은 스위칭 주파수인 5.4kHz를 반복되는 오차의 주기인 60Hz로 나눈 값으로 $N=90$ 이다. 디지털 제어기로 변환하는 과정에서 발생하는 시지연은 반복제어기 오차의 발산 또는 불안정한 제어의 원인이 된다. 이러한 시지연에 대한 효과를 보상하기 위해 위상 지연 샘플 개수 L 을 추가한다. 안정화 필터 $q(z)$ 는 위상 지연이 없는 저역 통과 필터를 설계하는 방법과 0과 1사이의 값의 상수로 설계를 하는 방법으로 나뉜다. 두 방법 모두 반복 제어기 효과는 있지만 오차의 제거 성능은 위상 지연이 없는 저역 통과 필터를 설계하는 방법이 우수하다.

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

안정화 필터 $q(z)$ 는 (1)과 같이 설계할 수 있다. 위와 같이 설계한 반복 제어기를 그림 4와 같이 플러그인 타입으로 전압 제어기에 적용할 수 있다. 반복 제어기 적용 전 후의 전압 오차를 확인해보면 오차 성분이 확연히 사라지는 것을 확인할 수 있다.

2.4 시뮬레이션

3상 3레벨 T-형 인버터의 사양은 다음 표 1에 정리했다.

표 1 3상 3레벨 T-형 인버터 사양
Table 1 The specification of 3-phase 3-level T-type inverter

3상 정격 전력	300kVA	스위칭 주파수	5.4kHz
출력 전압	220V	출력 전류	454.4A
직류링크 전압	760V	전압 주파수	60Hz

표 1과 같은 사양을 가지는 인버터의 전압-전류 제어기에 반복 제어기를 적용한 효과를 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 및 검증하였다.

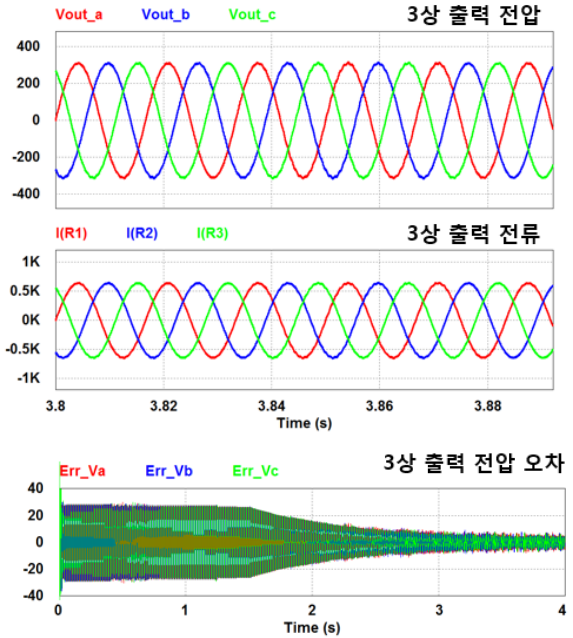


그림 5 반복 제어가 적용된 인버터 시뮬레이션 파형

Fig. 5 the simulation waveforms of inverter is applied to repetitive controller

그림 5에는 반복 제어가 적용되었을 때 출력 전압과 출력 전류의 파형과 1.5초에 반복제어기를 적용하였을 때 3상 출력 전압 오차의 파형을 도시하였다. 반복 제어가 적용되었을 때 전압 오차가 점점 0V 가까이 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

표 2 반복 제어기 적용 전후 출력 THD 비교

Table 2 The comparison The THD of output waveforms with application of repetitive controller

	반복 제어기 적용 전	반복 제어기 적용 후
V_{THD}	1.24%	1.14%
I_{THD}	1.28%	1.16%

3. 결론

낮은 스위칭 주파수와 낮은 인덕턴스를 가지는 UPS 인버터의 전력 품질을 향상시키는 반복 제어기를 설계하였다. 반복적인 주기를 가지는 오차가 발생하는데, 이를 제거함으로써 출력 전압 THD를 개선하였다. 시뮬레이션 상에서는 이상적인 소자를 이용하여 구현하였기 때문에 출력 전압 THD의 향상이 작은 것으로 보여지는데 실제 스위치의 제정수를 반영하여 구현한다면 개선되는 폭이 더 크게 나타날 것으로 사료된다.

본 연구는 중소기업청의 구매조건부신제품개발사업의 일환으로 수행되었습니다. (No. 2361925)

참고 문헌

[1] 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,