

# UPS 시스템의 신뢰성 향상을 위한 멀티레벨 인버터의 중성점 제어 기법

유승중\*, 조용수\*, 이교범\*, 이대봉\*\*  
아주대학교\*, 우진산업\*\*

## Neutral Point Voltage Control Method for Reliability Improvement of UPS System Using Multi-level Inverter

Seungjong Yoo\*, Yongsoo Cho\*, Kyo Beum Lee\*, Daebong Lee\*\*  
Ajou University\*, Woojin Industrial System Co\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 멀티레벨 인버터를 이용한 무정전 전원장치 시스템(UPS; Uninterruptible Power Supply)의 신뢰성 향상을 위한 중성점 전압 불평형 제어 기법을 제안한다. 무정전 전원장치 시스템(UPS)은 불평형 부하조건 시 직류단에 전압 불평형이 발생되며 이는 출력 전류의 왜곡을 일으켜, 민감한 부하에 손상을 입힐 수 있다. 제안한 제어기는 커패시터 전압 측정을 통해 시간오프셋을 추정 후 공간 벡터 변조 방식의 변형 없이 중성점 전압 불평형을 제어하여, 직류단의 전압을 평형상태로 유지한다. 또한, 100kW급 UPS 시스템 시뮬레이션 검증을 통해 제어기의 타당성을 입증하였다.

### 1. 서론

최근 기술이 고도로 발전함에 따라 통신 장비나 의료 장비, 컴퓨터 시스템과 같은 전원에 대해 민감한 특성을 가진 부하를 사용하는 장비나 시스템의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 부하를 가진 장비는 전원의 일시적인 이상 현상(과전압, 과전류, 고조파 등)에 큰 영향을 받아 시스템의 오작동이나 시스템 손상, 운전이 정지하는 등의 결과가 일어날 가능성이 있다. 때문에 이에 대한 대책으로 UPS를 사용하여 높은 신뢰성과 안정적인 전원을 공급하고 있다<sup>[1]</sup>.

UPS의 DC/AC 인버터는 멀티레벨 토폴로지를 사용함으로써, 각 스위치에 인가되는 전압 크기를 줄여 대용량화가 가능하여 최근 멀티레벨 인버터가 널리 사용되고 있다. 이러한 멀티레벨 인버터는 입력 측의 커패시터를 상단과 하단으로 나누어 사용하기 때문에 구조적인 특성에 의해 중성점 전압 변동이 필연적으로 발생한다. 부하가 비선형이거나 불평형이면 중성점 전압이 변동하게 되고 이로 인해 출력 전류가 왜곡되거나, 소자에 인가되는 전압을 증가시켜 정격전압 이상의 전압 스트레스로 소자 손상의 우려가 있다. 때문에 이러한 중성점 전압 불평형 제어에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문은 멀티레벨 인버터의 공간 벡터 전압 변조 방식을 변형하거나 복잡한 분석 없이, 직류단의 상단 커패시터와 하단 커패시터의 전압 측정값으로부터 적절한 시간오프셋을 제어기를 통해 얻는다. 스위치 동작 시간에 이 시간오프셋을 더해 소자가 동작하는 시간을 조절함으로써 중성점 전압을 제어하는 간단한 기법을 제안한다. 이를 통해 UPS의 인버터 중성점 불평형을 제어하여 UPS의 신뢰성 향상을 지향한다.

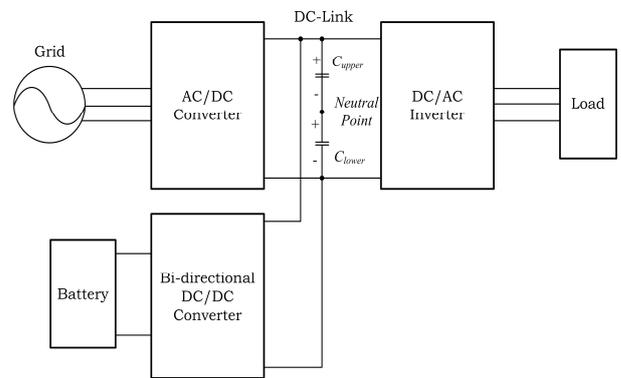


그림 1 일반적인 UPS 시스템  
Fig. 1 Conventional UPS system

### 2. UPS의 중성점 전압 불평형 제어

#### 2.1 UPS 시스템의 구조

일반적으로 UPS는 그림 1과 같이 AC/DC 컨버터, 직류단, DC/AC 인버터, 양방향 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. AC/DC 컨버터는 계통 전원에서부터 AC 전압을 DC 전압으로 변환하여 직류단에 일정한 전압이 유지되도록 제어하는 역할을 하며, DC/AC 인버터는 직류단의 DC 전압을 AC 전압으로 변환하여 부하 측에 전달한다. 계통의 사고 없이 정상적인 상태에는 직류단의 전압으로 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 배터리를 충전한다. 계통 사고가 발생하면, 계통 전원과의 연결을 끊고 계통이 사고로부터 복구될 동안 배터리에 충전되어 있는 전압을 양방향 DC/DC 컨버터가 직류단에 전달하여 일정 전압이 유지되도록 제어한다<sup>[3]</sup>.

#### 2.2 제안하는 PI 제어를 이용한 시간오프셋 추정

직류단의 상단 커패시터와 하단 커패시터의 전압 차로 인해 중성점 전압 불평형이 일어나므로, 상단 커패시터와 하단 커패시터의 전압을 측정하여 이 측정값의 차이를 오차로 제어할 수 행한다. 이 오차를 PI 제어기의 입력으로 주어 P, I 이득에 따라 시간오프셋 값을 구한다. 멀티레벨 인버터의 스위칭 동작은 공간 벡터 변조 방식으로 스위칭 시간을 인가해주어 이루어지는데, PI 제어기에서 계산된 시간오프셋 값을 스위칭 동작 시간에 더해주어 스위칭 시간을 조절해 중성점 전압 변동을 제어한다. 제안한 제어기의 동작 과정은 그림 2에 나타내었다.

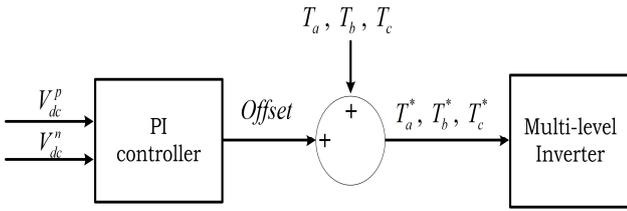


그림 2 PI 제어를 이용한 시간 오프셋 추정 블록 다이어그램  
 Fig. 2 Block diagram of time offset estimation using PI controller

### 2.3 제안하는 PI 제어기의 이득 설정

PI 제어기의 파라미터들은 최대 전력 조건과 이득 교차 주파수, 절점 주파수 따라 설정된다. 제안한 제어기의 PI 블록도는 그림 3에서 확인할 수 있는데, 이로부터 개루프 식을 구하면 식 (1)과 같다.

$$G_{OL} = G_1(s) \cdot G_2(s) = -K_p \frac{1+s \cdot T}{s \cdot T} \frac{2P}{V_{dc} \cdot C_{dc} \cdot s} \quad (1)$$

식 (1)에서  $T$ 는 제어기의 적분 시간,  $K_p$ 는 비례 이득이다. 식 (1)로부터 이득 교차 주파수  $\omega_c$ 를 구할 수 있고, 이를 이용하여 비례 이득  $K_p$ 를 구할 수 있다. 또한, 절점 주파수  $\omega_{co}$ 를 이용하여 적분 이득을 구할 수 있는데, 이때  $\omega_{co}$ 는 위상 여유를 위해 반드시  $\omega_c$ 보다 작아야한다. 따라서 비례 이득  $K_p$ 와 적분 이득  $K_i$ 는 아래의 식 (2), (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_p = -\omega_c \frac{V_{dc} \cdot C_{dc}}{2P} \quad (2)$$

$$K_i = K_p \cdot 2\pi \cdot \omega_{co} \quad (3)$$

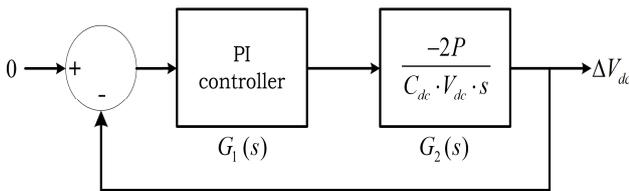


그림 3 PI 제어기 블록도  
 Fig. 3 Block diagram of PI controller

### 3. 시뮬레이션 검증

표 1 시뮬레이션의 UPS 회로 변수  
 Table 1 UPS circuit parameters of simulation

정격 전력	100kW	DC Link 커패시턴스	4700μF×2
계통 전원 크기	380/220V <sub>ac</sub>	DC Link 전압	700V
계통 주파수	60Hz	스위칭 주파수	5.4kHz

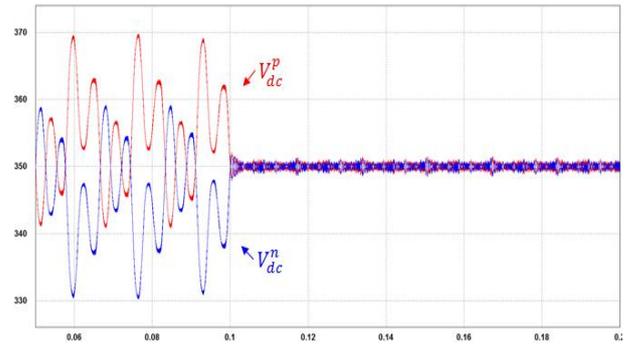


그림 4 상, 하단 커패시터 전압의 PI 제어  
 Fig. 4 PI control of upper, lower capacitor voltage

제안한 제어기의 시뮬레이션은 PSIM을 이용하여 수행하였고, 사용된 변수들은 표 1에 나타내었다. UPS 출력 단에 연결되어 있는 부하가 불평형인 조건 하에서는 3상 출력 전류가 불평형 상태가 된다. 또한, 이때 멀티레벨 인버터 입력 단 측의 상, 하단 커패시터의 전압이 불평형 상태가 되고, 이로 인해 중성점 전압 불평형 현상이 발생한다. 그림 5의 파형에서와 같이 0.1초 이전에는 상, 하단 커패시터 전압이 불평형 상태인 것을 확인할 수 있다. 하지만 0.1초부터 본 논문에서 제안한 제어기로 중성점 전압 불평형 제어를 수행하면 상, 하단의 두 커패시터 전압이 불평형 상태에서 약 0.03초 이내에 평형 상태로 제어되는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문은 멀티레벨 인버터를 이용한 UPS 시스템의 신뢰성 향상을 위한 중성점 전압 불평형 제어 기법을 제안하였다. 이 기법은 인버터 입력 측의 상, 하단 커패시터의 전압 측정값을 이용하여 오프셋 크기를 구하고 스위치가 인가되는 시간에 더해져 간단하게 중성점 전압 불평형을 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 제안된 기법의 타당성은 100kW급 UPS 시스템을 모의로 구현한 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원을 받아 수행한 연구결과입니다.(13PRTD C063745 02)

### 참고 문헌

[1] H. S. Kim, J. H. Han, J. H., Song, "Droop Control을 이용한 3상 4선식 UPS의 병렬운전", 조명·전기설비학회논문지, 제27권, 제4호, pp. 88-95, Apr. 2013

[2] U. M. Choi, H. G. Jeong, K. B. Lee, "Method of Neutral point Voltage Balancing for a Grid Connected NPC Inverter System with Time offset Variant Estimating", IPEMC2012, pp. 499-504, 2012.

[3] Z. Chlodnicki, W. Koczara, N. Al Khayat, "Hybrid UPS Based on Supercapacitor Energy Storage and Adjustable Speed Generator", Compatibility in Power Electronics, 2007. CPE '07, pp. 1-10, Jun. 2007.