

변압기 없는 고효율 3상 UPS의 개발

김태훈, 김경환, 김민국, 박진영, 오성진
이화전기공업(주)

Development of a Three-Phase Transformerless UPS with High Efficiency

TaeHoon Kim, KyungHwan Kim, MinKook Kim, JinYoung Park, SungJin Oh
Ehwa Technologies Information

ABSTRACT

인버터 출력측에 변압기를 이용하지 않는 고효율의 3상 UPS는 크게 3부분의 전력변환 장치로 구성되어진다. 입력단 역률제어 및 고조파 전류억제를 위한 PWM 컨버터, 출력단 전압 제어를 위한 PWM 인버터, 그리고 출력단 변압기를 이용하지 않기 때문에 높아지는 직류단 전압을 낮은 배터리 전압으로 변환할 수 있는 양방향 컨버터이다. 본 논문에서는 이러한 무변압기형 UPS의 구성 및 실험결과에 대해 기술한다.

1. 서론

반도체 생산라인, 병원, 증권회사, 은행 등등, 전원 장애 사고에 의해 막대한 피해를 입을 수 있는 부하들을 보호하기 위해 이용되는 UPS(Uninterruptible Power Supply)는 크게 이중변환(Double Conversion)방식과 계통연계형(Line interactive)방식의 두 가지 형태로 나누어지며 대부분의 사용자들은 그림 1에서 나타내는 이중변환 방식의 UPS를 이용하고 있다. 이러한 이중변환 방식의 UPS의 장점 및 단점은 표 1과 같다. 정상 동작시 입력측의 정류기와 출력측의 인버터를 이용하여 부하에 전원을 공급하기 때문에 입력과 출력측은 전력변환장치에 의해 분리된다. 또한 인버터에 의해 입력전원과 무관하게 독립적인 출력전압 제어가 가능하기 때문에 신뢰성이 높다. 하지만 정상시 두 번의 전력변환을 거쳐 부하에 공급되기 때문에 전력변환장치 혹은 변압기에서 생기는 손실로 인해 효율이 낮은 단점과 입력역률을 단위역률로 하기 위해서 부하용량에 해당하는 PFC 컨버터가 부가적으로 설치되어야 하기 때문에 가격적인 측면에서 비경제적인 단점을 가지고 있다. 최근 화석 에너지의 감소로 인해 에너지 절약이 크게 대두되고 있는 실정에서 소비자들은 경제적이며 효율적인 제품을 선호하기 때문에 입력측에 PFC기능을 가지고 있는 이중변환 UPS들은 좋은 성능에도 불구하고 수요가 줄어들고 있다. 앞서 언급된 이중변환 UPS의 문제점들을 해결하기 위해서는 두 가지의 해결책이 요구된다. 첫 번째는 효율에 관한 것이다. 그림 1을 보면 인버터 출력 측에 변압기를 제거하여 출력효율을 높일 수 있다. 두 번째 문제점은 출력변압기가 없어지면서 발생 하는 직류단의 높은 전압이다. 일반적으로 3상 UPS에서 PFC 기능을 수행하기 위해 3상 Boost 컨버터를 이용하는데 이 Boost 컨버터가 제 역할을 하기 위해서는 입력전압에 의해 정류된 직류 전압보다 높아야

표 1 이중변환방식 UPS의 장점 및 단점

Table 1 Advantage and Disadvantage of Double Conversion UPS

이중변환방식 UPS	
장점	단점
전원과 부하간의 절연	다소 낮은 효율(약 90%, 출력변압기 이용 시)
독립적인 출력전압 제어	입력역률 제어 위해 부가적 회로 필요(PFC 컨버터등)
고 신뢰성	높은 가격

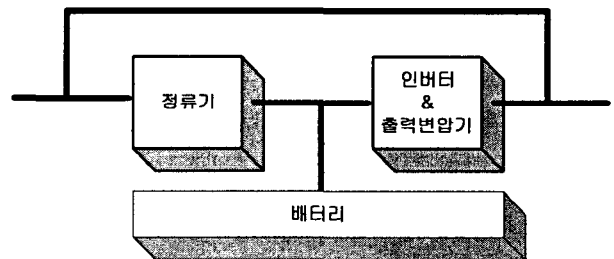


그림 1 이중변환방식 UPS의 구성도

Fig. 1 Configuration of Double Conversion UPS

한다. 예를 들어 380V의 입력을 가지는 장비에서 Boost 컨버터가 입력역률을 제어하기 위해서는 대략 800V의 직류전압을 가져야 한다. 하지만 UPS의 직류 측은 정상 동작시 배터리와 연결되기 때문에 800V와 같은 높은 직류전압은 배터리의 가격 및 설치 면적을 증가 시키는 요인이 된다. 따라서 높은 직류전압을 낮은 배터리 전압으로 변환할 수 있는 컨버터가 필요하게 된다. 또한 출력변압기가 없기 때문에 인버터가 안정적인 출력전압을 발생시킬 수 있도록 입력 정전 발생 시 낮은 배터리 전압으로 높은 직류전압을 변환할 수 있는 컨버터가 동시에 필요하게 된다.

본 논문에서는 PFC기능을 갖는 무변압기형 이중변환 방식 UPS의 전체 회로 및 주요 컨버터에 대해 기술하고 실험결과를 나타낸다. 개발된 장비는 인버터 출력측에 변압기를 가지고 있지 않기 때문에 이중변환방식이면서도 효율이 높으며(약 95%), 직류전압과 배터리 사이에 양방향성 컨버터를 이용하여 배터리 전압을 낮게 이용할 수 있어 경제적이다.

2. 무변압기형 이중변환 UPS의 구성

2.1 전체 구성

그림 2에서 PFC기능을 갖는 무변압기형 이중변환 UPS의 구성도를 나타낸다.

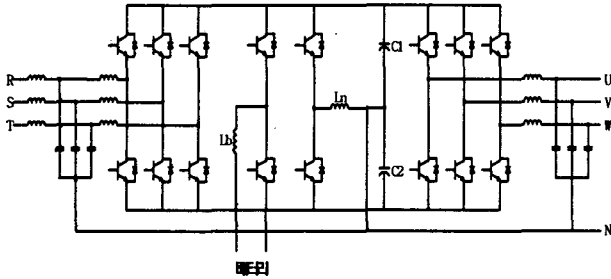


그림 2 무변압기형 이중변환 UPS의 구성도
Fig. 2 Configuration of Double Conversion Transformerless UPS

그림 2에서 알 수 있듯이 인버터의 출력측은 변압기를 이용하지 않기 때문에 고주파 스위칭 전압을 감쇄시킬수 있는 LC 필터로 구성되어있고, 출력측을 3상 4선식으로 이용할 수 있도록 직류단 커패시터의 중성점을 중성선으로 이용한다. 이로 인해 분할된 커패시터의 전압은 균등 전압제어장치로 커패시터들의 전압을 항상 같게 유지한다. 또한 입력전류제어 및 출력전압제어를 위해 높아진 직류단의 전압은 양방향 컨버터를 이용하여 낮은 배터리 전압으로 변환한다. 이와같이 무변압기형 이중변환 UPS는 PWM 컨버터, 양방향 컨버터, 균등전압제어장치, 그리고 인버터의 네 부분으로 나누어진다.

2.2 주요 변환 장치

입력측에 이용하는 컨버터와 출력측에 이용하는 인버터는 변압기의 이용유무에 관계없이 유사하게 이용된다. 하지만 변압기를 이용하는 이중변환 UPS와 달리 무변압기형 이중변환 UPS는 변압기형에서는 이용하지 않는 새로운 형태의 컨버터들이 이용된다. 첫 번째는 높아진 직류전압을 낮은 전압으로 낮추어 이용할 수 있도록 해주는 양방향 컨버터이며, 두 번째로는 출력측 중성선 이용으로 인해 분할된 직류단 커패시터들의 전압을 서로 같도록 제어해주는 균등전압 제어장치이다. 이러한 양방향 컨버터 및 균등전압제어장치로 인하여 무변압기형 이중변환 UPS가 개발되었다.

2.2.1 양방향 컨버터

무게를 고려하여 배터리 전압을 낮추어야하는 전기자동차 분야에서 많이 이용되는 양방향 컨버터는 설치 면적 및 가격적인 측면에서 배터리 전압을 낮추어야 하는 UPS에서도 좋은 해결책으로 이용되고 있다. 이와 같이 이용되는 양방향 컨버터의 구성을 그림 3에 나타낸다. 또한 배터리의 충전 및 방전 상태에 따른 동작회로를 그림 4에 나타낸다. 그림 4(a)를 보면 입력이 정상인 상태에서 배터리를 충전할 때의 동작이며, Buck컨버터의 형태와 같다. 이와반대로 그림 4(b)를 보면 입력이 정전인 상황에서 배터리의 전압을 직류단의 높은 전압으로 변환하는 Boost컨버터의 형태와 같다. 입력전압의 상태에 따라 양방향 컨버터는 배터리를 충전 혹은 방전시키게 된다.

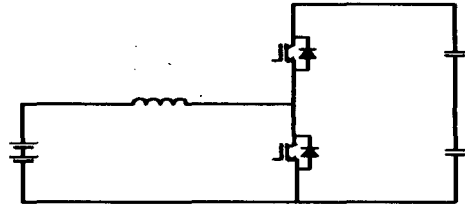
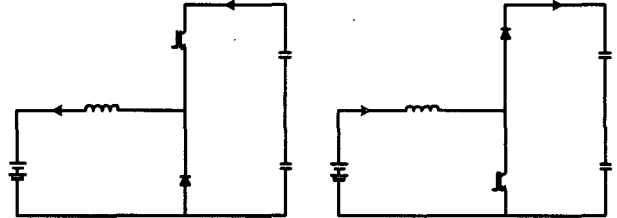


그림 3 양방향 컨버터의 구성도
Fig. 3 Configuration of Bidirectional Converter



(a) 배터리 충전상태 (a) Charging
(b) 배터리 방전상태 (b) Discharging

그림 4 배터리 동작 상태에 대한 등가회로
Fig. 4 Equivalent Circuit for Battery Operating States

2.2.2 균등전압 제어장치

그림 5에서는 분할된 커패시터들의 직류전압을 같도록 해주는 균등전압 제어장치를 나타낸다. 보통 3상 UPS는 출력을 3상 4선식으로 이용한다. 따라서 변압기 없이 인버터 출력전압을 3상4선식으로 하기 위해 4-Leg 인버터를 이용하게 된다. 4-Leg 인버터도 이용방법에 따라 여러 가지 형태가 있지만 본 논문에서 제안하는 무변압기형 이중변환 UPS에서는 그림 5와 같은 4-Leg 인버터를 이용하여 개발하였다. 그림 5에서 살펴보면 3-Leg 인버터와 마찬가지로 세 개의 레그는 3상전압제어를 수행하며 마지막 하나의 레그는 분할된 커패시터들의 균등한 전압을 제어한다. 그림 6에서 이에 대한 동작 원리를 나타낸다.

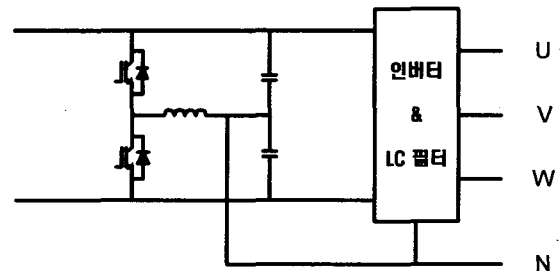
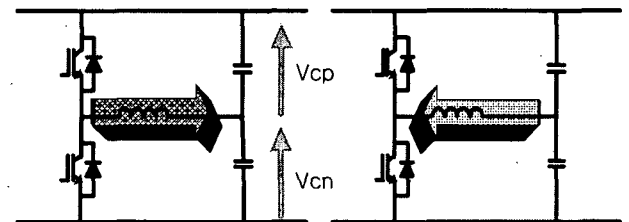


그림 5 균등전압 제어장치의 구성도
Fig. 5 Configuration of Balancer



(a) $V_{cp} > V_{cn}$ (b) $V_{cp} < V_{cn}$

그림 6 균등전압 제어장치의 동작원리
Fig. 6 Operating Principle of Balancer

그림 6(a)에서는 중성선에 의해 직렬로 분할된 위쪽 커패시터의 전압이 아래쪽 커패시터의 전압보다 큰 경우, 즉 V_{cp} 가 V_{cn} 보다 큰 경우의 동작 상태이다. 이와 반대로 그림 6(b)에서는 V_{cn} 이 V_{cp} 보다 높기 때문에 아래쪽 스위치를 도통하여 직렬로 연결되어 있는 커패시터들의 전압을 균등하게 맞춰준다.

3. 실험 결과

개발된 장비를 이용하여 입력 및 출력단과의 전압전류 파형 및 양방향 컨버터의 과도응답 특성 파형을 측정하였다. 개발된 장비를 이용한 실험조건은 표 2와 같다.

표 2 실험조건
Table 2 Test Condition

실험 조건	
장비 용량	80kVA
입력/출력 전압	380V/380V
시험 부하용량	50kVA(62.5%)
배터리 용량	200AH

그림 7부터 그림 9에서 이에 대한 파형들을 나타낸다. 그림 6에서는 PFC컨버터에 의해 입력전류가 입력전압과 동상으로 제어되는 것을 볼 수 있으며, 그림 8에서는 이때 부하 출력전압과 출력전류를 나타낸다. 그림 9에서는 입력전압 정전 상태에서 부하 가변 시 양방향 컨버터에 의해 제어되는 커패시터 측 직류전압과 배터리 방전전류를 보여준다.

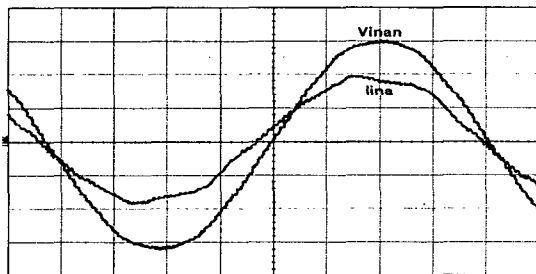


그림 7 입력 상전압, 전류 파형(62.5%, RL부하, 지상 0.8)
Fig. 7 Input Phase Voltage and Phase Current Waveform(62.5%, RL Load, Lag 0.8)
100V/div, 50A/div

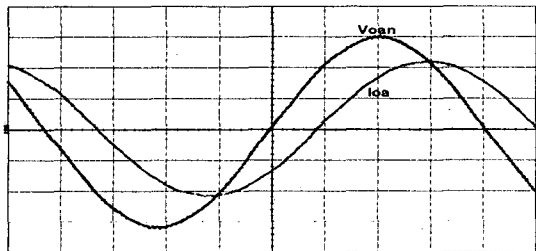


그림 8 출력 상전압, 전류 파형(62.5%, RL부하, 지상 0.8)
Fig. 8 Output Phase Voltage and Phase Current Waveform(62.5%, RL Load, Lag 0.8)
100V/div, 50A/div

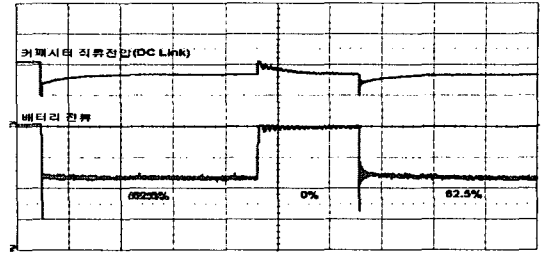


그림 9 입력 정전 상태에서 부하 가변 시 커패시터 직류전압과 배터리 전류 파형

Fig. 9 DC Link Voltage and Battery Current Waveform at Load Variation during Input Blackout
50V/div, -700V offset 50A/div

4. 결론

최근 효율과 신뢰성이 높은 UPS의 수요가 늘어남에 따라 변압기가 없는 이중변환 UPS를 선호하고 있는 실정이다. 이러한 UPS는 크기, 무게, 가격적인 측면에서 변압기형 UPS보다 좋은 특성을 가지고 있으며, 특히 효율이 약 5%정도 높게 나타나는 것을 표 3에서 알 수 있다. 표 3에서는 부하역률이 0.8인 100%부하에서 변압기형과 무변압기형의 입력 특성 및 효율에 대한 시험결과를 나타낸다. 본 논문에서는 무변압기형 이중변환 UPS의 전체 구성 및 주요 변환장치에 대해 기술하였으며, 실험결과를 통해 개발된 UPS의 우수한 성능을 입증하였다.

표 3 입력특성 및 효율 시험결과
Table 3 Test Result of Input Characteristic and Efficiency

시험항목	측정장비 80kVA(부하량 100%, PF=0.8)	
	변압기형	무변압기형
입력역률	0.996	0.996
입력전류 THD	2.9%	2.8%
효율	90.3%	94.5%

참고 문헌

- [1] Qing-Chang Zhong, Tim C. Green, Jun Liang, George Weiss, " H^∞ Control of the neutral point in 3-phase 4-wire DC-AC converters", *IECON 02*, Vol. 1, 2002, pp. 520-525.
- [2] D.H. Lee, S.R. Lee, and F.C. Lee, "An Analysis of midpoint balance for the neutral-point-clamped three-level VSI", in *Power Electronics Specialist Conference, PESC 98 Record*, 1998, vol. 1, pp. 193-199.