3레벨 인터리브드 충방전기의 중성점 제어 기법

구태근*, 이인환*, 이기현*, 손진근**
성신전기공업(주)*, 가천대학교**

Neutral-Point Voltage Balancing Control Method of the 3-level Interleaved Charger & Discharger

Tae Geun Koo*, In Hwan Lee*, Gi Hyeun Lee*, Jin Geun Shon**
Sungshin Electric Co. Ltd.*, Gachon University**

ABSTRACT

본 논문에서는 3레벨 무정전전원장치의 직류링크 전압 불균형을 제거할 수 있는 3레벨 인터리브드 충방전기의 장치 및 제어 기법을 제안하였다. 기존 2레벨에 비해서 3레벨 인터리브드 충방전기는 배터리 전류의 리플감소와 전력변환손실을 절감할 수 있으며, 중성점 전압 제어로 직류링크의 전압편차를 균등화 할 수 있다. 제안된 기법은 방전 시 독립방전모드와 중복방전모드가 자동 전환되며, 간단하고도 효과적으로 중성점 전압제어가 가능하다. 제안된 방식의 유효성은 PSIM 시뮬레이션과 300kVA 무정전전원장치 시제품의 동작파형으로 검증하였다.

1. 서론

최근 무정전전원장치(UPS : Uninterruptible Power Supply)는 3레벨 토폴로지를 적용함으로써, 각 스위칭소자에 인가되는 전압이 직류링크 전압의 절반으로 줄일 수 있어 대용량화가 용이하고, 출력전압과 전류의 고조파 성분을 현저히 감소시킬 수 있으며, 스위칭 손실절감으로 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 3레벨 토폴로지는 구조적으로 직류링크에 두 개의 커패시터가 직렬로 구성되며, 각 스위칭 상태에 따라 전원과의 전력전달에 관여하는 커패시터가 달라진다. 특히 비선형이나 불평형부하 시 직류링크 중성점 전위가 변동하게 되므로 시스템 신뢰성에 나쁜 영향을 미친다.[1] 본 논문에서는 방전 시 3레벨 인터리브드 충방전기의 중성점전압 제어 기법을 제안하였다.

2. 3레벨 인터리브드 충방전기

2.1 3레벨 인터리브드 충방전기 회로 및 동작모드

본 논문에서 사용한 3레벨 인터리브드 충방전기는 배터리 충전과 방전을 위한 양방향으로 전력변환이 가능한 DC/DC 컨버터이다. 그림 1은 3레벨 인터리브드 충방전기의 회로도를 나타낸다. 인터리브드 스위칭 방식은 스위칭 손실을 증가시키기 않으면서 스위칭 주파수를 올린 것과 같은 효과를 가진다.

일반적으로 인터리브드 방식의 컨버터는 병렬로 연결된 컨버터가 동일한 주파수로 스위칭을 하며, 한주기 내에서 180도의 위상차를 갖고 duty가 서로 겹치기 않게 스위칭을 하게 된다. 하지만 3레벨 인터리브드 충방전기는 배터리전압과 1/2Vdc에 해당하는 Vc1 또는 Vc2 전압크기에 따라 duty가 서로 겹치는 구간이 발생된다.

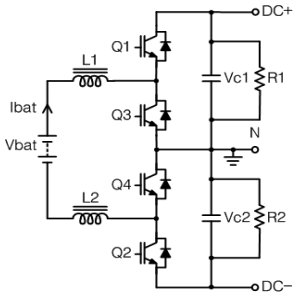

그림 1 3레벨 인버리브드 충방전 회로도

2.1.1 충전동작

그림 2는 충전동작모드를 나타낸다. 충전동작은 스위치 Q1과 Q2가 180도의 위상차(Phase Shift)를 갖고 동일한 Duty로 교번적으로 스위칭하게 된다. 독립충전모드는 모드1 => 모드2 => 모드3 => 모드2를 반복적으로 수행한다. 충전동작으로 배터리전압이 상승하게 되면, Q1과 Q2의 Duty가 50%이상으로 증가하게 되고, 자동적으로 중복충전모드로 전환된다. 중복충전모드는 모드1 => 모드4 =>모드3 => 모드4를 반복적으로 수행한다. 충전 동작은 Q1과 Q2가 동일한 Duty로 상호 교번적으로 스위칭하므로 Vc1과 Vc2의 전압은 항상 균등하게 유지된다.

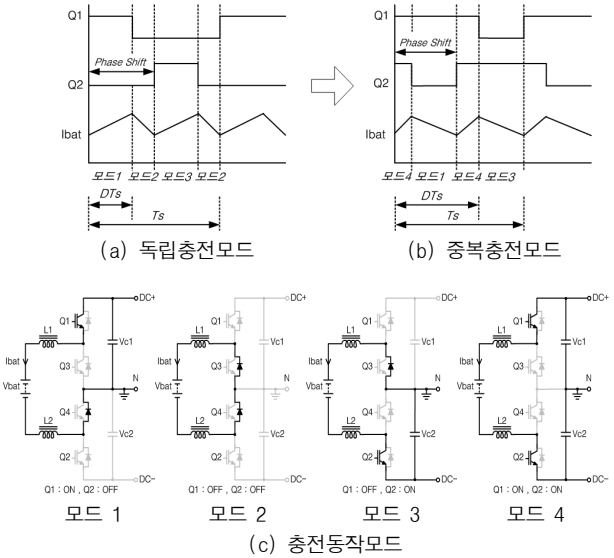

그림 2 충전동작모드

2.1.2 방전동작

그림 3은 방전동작모드를 나타낸다. 방전동작은 스위칭 Q3과 Q4가 180도의 위상차(Phase Shift)를 갖고 교번적으로 스위칭하게 된다. 독립방전모드는 모드1 => 모드2 => 모드3 => 모드2를 반복적으로 수행한다. 방전동작으로 배터리전압이 감소하게 되면, Q1과 Q2의 Duty가 50%이상 증가하게 되고 자동적으로 중복방전모드로 전환된다. 중복방전모드는 모드1 => 모드4 =>모드3 => 모드4를 반복적으로 수행한다. 비선형이나 불평형 부하 시 Vc1과 Vc2의 전압불균형이 발생하며, 중성점 전압 제어는 모드 1과 모드 3에서 수행된다.

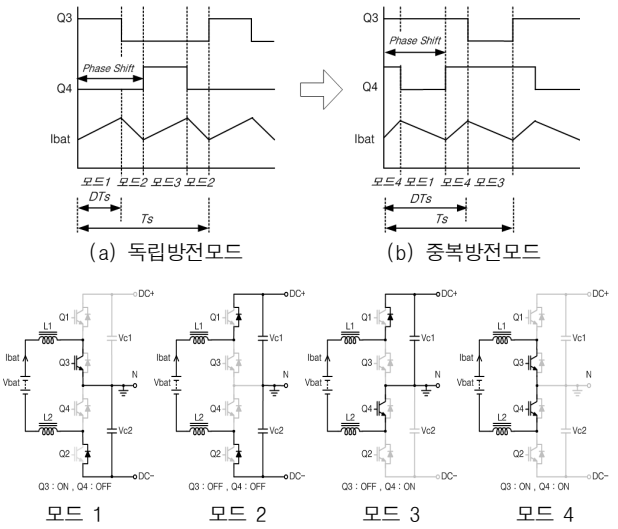

그림 3 방전동작모드

2.1.2 중성점 제어

그림 4는 방전 시 중성점 제어블록도이다. 직류링크 전압제어기와 배터리 전류제어기를 통해서 D_con이 출력된다. 그리고 Vc1과 Vc2의 전압 불균형 발생 시, 이를 제거하기 위한 중성점 제어기가 동작하여 D_n이 출력된다. 여기서, Q3는 D_con + D_n, Q4는 D_con D_n으로 최종 Duty가 각각 결정된다.

Vc1이 Vc2보다 클 경우에는 Q3의 Duty는 D_n만큼 증가하고, Q4의 Duty는 D_n만큼 감소한다. 결국 Vc1은 감소하고 Vc2는 증가하여 Vc1과 Vc2의 전압균형이 이루어지게 된다.

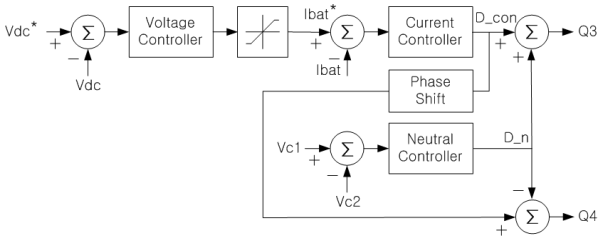

그림 4 방전 시 중성점 제어블록도

2.2 시뮬레이션

제안한 중성점 제어 방식의 타당성을 검증하기 위하여 PSIM 시뮬레이션을 하였으며, 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 그림 5는 방전 시 Vc1과 Vc2의 임피던스 불균형으로 Vc1과 Vc2의 전압차가 발생하나, 0.2초 시점에서 본 논문에서 제안한 중성점 제어를 수행함으로써 Vc1과 Vc2의 전압 불평형이 1ms 이내에 평형 상태로 균일하게 제어되는 것을 확인할 수 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

충방전 용량	300kVA
배터리 전압(Vbat)	400V
Vc1, Vc2	350V
L1, L2	400uH
Vc1 병렬저항(R1)	0.84Ω
Vc2 병렬저항(R2)	0.8Ω
스위칭 주파수	7.5kHz

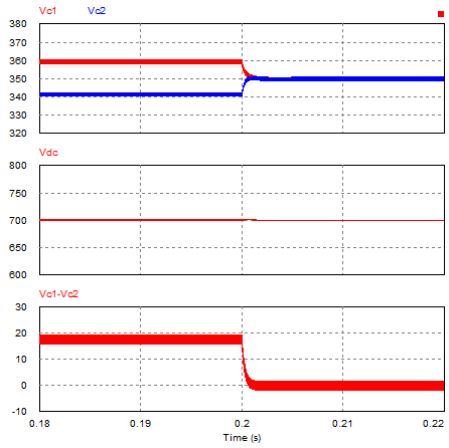

그림 5 방전 시 중성점 제어 시뮬레이션

2.3 실험 결과

그림 6은 300kVA UPS 시제품에서 정전 시 실험파형으로써, 정전에 따른 과도상태 및 정상상태에서 Vc1과 Vc2가 완전히 겹쳐있으므로, 두 전압이 동일한 크기로 균등하게 제어됨을 실험을 통해서도 확인할 수 있다.

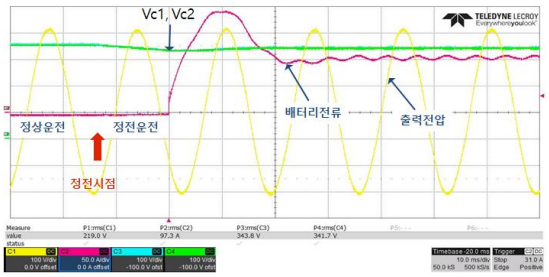

그림 6 방전 시 중성점 제어 실험파형

3. 결론

본 논문에서는 3레벨 UPS에서 방전 시 직류링크의 두 커패시터 간에 발생하는 전압 불평형을 해결하기 위해서 3레벨 인터리브드 충방전기의 중성점 제어기법을 제안하였다. 이 기법은 방전 시 독립방전모드와 중복방전모드를 자동으로 전환되며, 간단하고도 효과적으로 중성점 전압제어가 가능하다. 본 논문에서 제안한 방식의 타당성을 시뮬레이션과 실험을 통해서 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] 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", IPECMC2012, pp. 499 504, 2012.