

3-Level NPC 토폴로지의 무효전류 품질 향상을 위한 DC-Link 중성점 리플전압 예측 기법

이운민, 도원석, 서정원, 정문권, 김희중, 김영근
LS산전

Estimating the DC Link Neutral Point Voltage to Improve Quality of Reactive Current for the 3-Level NPC topology

Yoon-min Lee, Won-Seok Do, Jungwon Seo, Moon kwun Jung, Hee jung Kim, Young geun Kim
LSIS

ABSTRACT

본 논문에서는 3-Level Neutral-Point-Clamped (NPC) 인버터의 중성점 리플 전압 예측 기법을 제안한다. 산업용 계통 연계형 인버터의 경우, 계통 규정을 만족하기 위하여 전압 강하와 같은 계통 사고 발생 시 계통에 협조할 수 있도록 무효전류 보상이 요구된다.

NPC 인버터는 두 개의 커패시터가 직렬로 이루어진 구조로 무효전류 출력 시 상단과 하단의 커패시터 전압에 3차 중성점 리플 전류로 인해 중성점 리플 전압이 발생한다. 따라서 중성점 리플 전압을 고려하여 출력 전류에 보상하지 않으면 무효전류의 품질에 악영향을 끼칠 수 있다. 본 논문에서는 하나의 DC 전압센서를 통하여 중성점 전류를 예측하고, 중성점 리플 전압을 보상하는 알고리즘을 제안한다. Hardware In the Loop (HIL) Simulation을 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

3-Level NPC 인버터는 2-Level 인버터와 비교하여 스위치의 정격 내압을 반으로 사용할 수 있기 때문에 높은 전압 사양을 요구하는 시장 트렌드에 적합하며 낮은 고조파(THD) 특성을 가지는 장점이 있다. 따라서 최근 대전력 분야에서는 3-Level NPC 토폴로지를 많이 사용하고 개발하는 추세이다. 하지만 3-Level NPC 인버터는 2개의 DC-Link 커패시터가 직렬로 연결된 구조로 중성점의 전위가 변동되어 두 커패시터 사이에 전압 차이가 발생한다. 이 전압 차이는 무효전류 품질에 영향을 끼침으로 시스템의 신뢰성을 감소시킨다.

본 논문에서는 제어 출력 전압, 전류 지령치를 통해 예측된 중성점 리플 전압을 극전압에 가감하여 3-Level 토폴로지의 스위칭 듀티를 계산한다. 이를 통하여 무효전류 품질을 향상 시킬 수 있고, 알고리즘의 타당성을 HIL Simulation으로 검증하였다.

2. 본 론

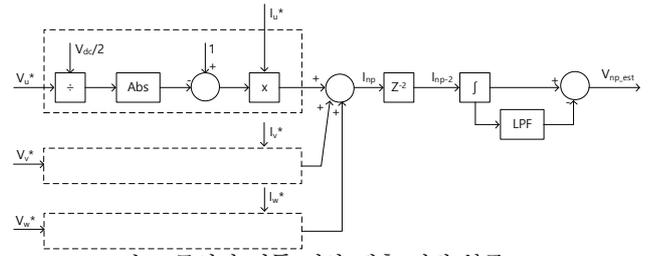


그림 1 중성점 리플 전압 예측 기법 블록도

2.1 중성점 리플 전압 예측 기법

그림1은 본 논문에서 제안한 중성점 리플 전압을 예측하는 알고리즘 블록도이다. 점선 블록 속 알고리즘은 각 상 u, v, w에 동일한 알고리즘으로 v 상과 w 상의 알고리즘 블록도 표기는 생략하였다.

$$I_{np} = \left(1 - \left|\frac{V_u^*}{\frac{V_{dc}}{2}}\right|\right) \times I_u^* + \left(1 - \left|\frac{V_v^*}{\frac{V_{dc}}{2}}\right|\right) \times I_v^* + \left(1 - \left|\frac{V_w^*}{\frac{V_{dc}}{2}}\right|\right) \times I_w^* \dots \text{식 (1)}$$

식 (1)은 그림1의 블록도 중 예측한 중성점 전류에 대한 수식이다.

V_u^* , V_v^* , V_w^* 및 I_u^* , I_v^* , I_w^* 는 각 출력 전압, 전류의 지령치이며, V_{dc} 는 DC-Link 전압, I_{np} 는 예측한 중성점 전류, I_{np-2} 는 예측한 중성점 전류의 두 샘플링 이전 값이다. 여기서 I_{np} 는 출력 전압, 전류 지령치를 이용하여 예측하기 때문에 두 샘플링 이전의 예측된 I_{np} 값이 현재의 측정 값이라 가정하여 이 값을 중성점 리플 전압 예측에 사용하였다. 마지막으로 중성점 전류를 적분 시, 포화되는 것을 방지하기 위하여 저역필터된 값을 적분한 값에서 빼준다. 이 값을 예측된 중성점 전압($V_{np,est}$)이라 부르고, 극전압 ($\pm V_{dc}/2$)에 반영한다.

2.2 모의실험 및 결과

상기 2.1의 중성점 리플 전압을 예측하여 적용한 시스템의 모의실험은 자사(LS산전) 제품 컨셉인 인버터 병렬운전을 토대로 수행하였으며, 정격 125kW의 3-Level NPC 인버터(자사 명칭: PEBB) 2대를 병렬운전 하였다. 그에 따른 시뮬레이션의 사양은 표1과 같고, 그림2는 제안한 기법 적용 전의 모의시행 결과파형이며, 그림3는 제안한 기법을 적용한 모의시행 결과파형이다. 또한 그림4와 그림5는 제안한 기법의 적용 전과 후의 THD 결과 그래프이다.

표1 HIL simulation specification table

정격 AC 전압	440V _{LL} /60Hz
정격 AC 전류	328A _{rms}
배터리 전압	800V _{dc}
정격 전력	250kW

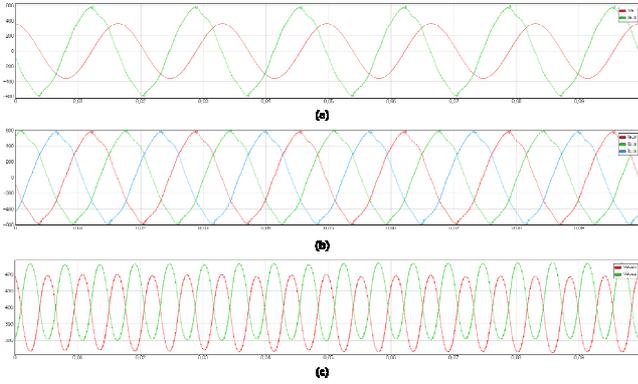


그림 2 제안기법 적용 전 모의실험 파형; (a) u상의 전압, 전류 (b) 3상 출력 전류, (c) DC-Link 상/하단 전압

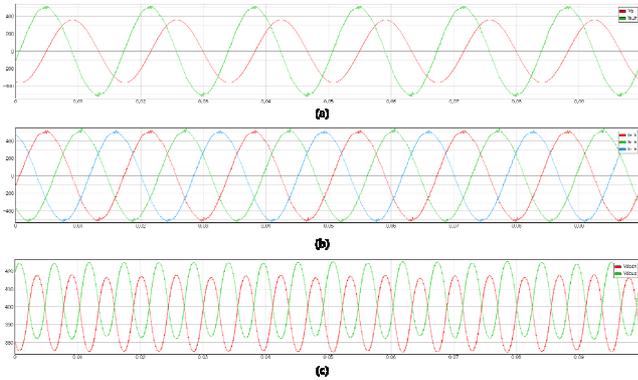
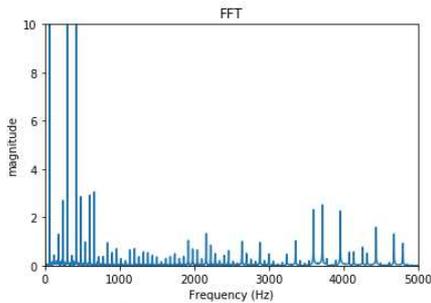
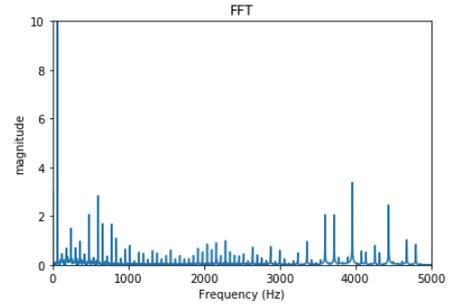


그림 3 제안기법 적용한 모의실험 파형; (a) u상의 전압, 전류 (b) 3상 출력 전류, (c) DC-Link 상/하단 전압



Fundamental Freq = 60.00
THD = 3.79%

그림 4 제안기법 적용 전 THD



Fundamental Freq = 60.00
THD = 1.90%

그림 5 제안기법 적용 후 THD

모의실험 결과파형에서 제안기법 적용 전(그림2)의 3상 출력 전류파형에 5차 고조파가 실려있고, THD는 3.79%이다. 그리고 제안기법 적용 후(그림3)의 3상 출력 전류 파형은 적용 전의 파형과 비교하여 5차 고조파가 감소함을 볼 수 있고, THD는 1.9%로 약 50% 감소하였다.

3. 결론

본 논문에서는 3-Level NPC 토폴로지의 무효전류 품질 향상을 위한 DC-Link 중성점 리플 전압 예측 기법을 제안하였으며, 이를 HIL 시뮬레이션을 통하여 무효 전류 품질 향상을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] TOSHIBA CORP(株式会社東芝), 中性点클램프式電力變換裝置, JP 5622437 B2, 2014.11.12
- [2] MEIDENSHA CORP (株式会社明電舎), 3레벨인버터의制御裝置, JP 6225418 B2, 2017.11.08