

삼상 3레벨 NPC 인버터와 T-type 인버터의 효율개선을 위한 DSVPWMx 적용 및 해석

신현진, 박주영, 최재호
충북대학교

DSVPWM Method for Improving the Efficiency of Three-phase Three Level NPC & T-type Inverter

Hyunjin Shin, Juyoung Park, Jaeho Choi
Chungbuk National University

ABSTRACT

대용량 분산 발전원이 증가하면서 이러한 대용량 분산 발전을 효율적으로 운전하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 멀티레벨 인버터 토폴로지 중 3L NPC와 3L T type 인버터에 DSVPWMx(DSPVWMP, DSPVWMPN, DSPVWMPN0, DSPVWMPN1, DSPVWMPN2, DSPVWMPN3)를 적용하였을 때 두 개의 멀티레벨 인버터에서 발생하는 효율의 차이를 비교하였다. 이를 검증하기 위한 방법으로 Psim Thermal Module을 활용하여 회로를 구성하고 각 PWM방식에서 전압변조비에 따른 효율을 비교 분석하였다.

1. 서론

마이크로 그리드에서 많이 사용되고 있는 전압형 인버터는 다양한 그린에너지를 자원으로 하여 구성된다. 특히, 태양광이나 풍력발전에서 대용량 발전설비가 늘어나면서, 인버터의 효율을 향상시키기위해 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 3레벨 NPC인버터와 T type 인버터의 스위칭 상태에 따른 스위칭 소자의 손실을 분석하고, 육샷전압을 이용한 대칭 SVPWM과 DSVPWM(Discontinuous Space Vector Pulse Width Modulation)방식^[1]들을 각 멀티레벨 인버터에 적용하여 스위칭 주파수, 역률, 전압이용률의 변화에 따른 손실의 변화를 비교 분석하였다.

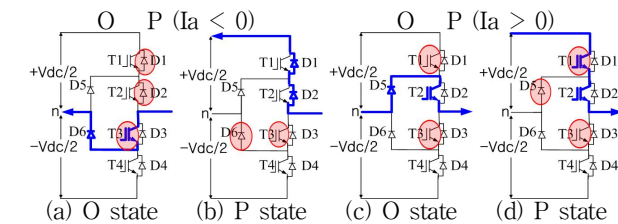


그림 1 3레벨 NPC인버터의 스위칭 상태
Fig. 1 3L-NPC inverter switching state

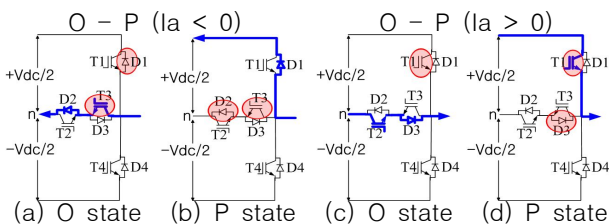


그림 2 3레벨 T-type 인버터의 스위칭 상태
Fig. 2 3L-T-type inverter switching state

2. 본론

2.1 3레벨 인버터 스위칭상태에 따른 손실해석

2.1.1 3레벨 NPC인버터의 스위칭 상태에 따른 손실해석

그림 1은 3레벨 NPC인버터에서 각 스위칭 상태에 따른 도통경로를 보여준다. 표에서 과란색 화살표는 스위칭 소자에서 발생하는 도통손실의 경로를 나타내며 붉은색 원은 스위칭손실이 발생하는 스위칭 소자를 나타낸다. 3레벨 NPC 인버터는 전체 스위칭 상태에서 항상 2개의 전력용 스위칭 소자를 통해 인버터의 출력이 나타난다.

그림 1로부터 3레벨 NPC인버터의 동작을 자세히 알아보면 다음과 같다. 지령전압과 전류의 방향에 따라 인버터의 동작상태를 4가지로 구분할 수 있다. 3레벨 NPC 인버터가 Positive half cycle에서 동작하고 상전류의 크기가 0보다 작을 때 그림 1. (a). (b)상태를 반복하며 동작한다. P상태에서 D1과 D2를 도통하여 +dc/2로 흐르며, O상태에서 T3과 D6을 통하여 전류가 통해 2개의 스위칭 소자를 통하여 도통하게 된다. 스위칭 상태가 O→P로 변화할 때 D6에서 스위칭손실이 발생하며, T3에서 스위칭 Off 손실이 발생한다. 또한 P→O로 스위칭상태가 변화할 때 D1과 D2에서 스위칭손실이 발생하게 되며, T3에서는 스위칭 On 손실이 발생하게 된다.

2.1.2 3레벨 T-type인버터의 스위칭 상태에 따른 손실해석

그림 2에서 3레벨 T type 인버터는 스위칭 상태에 따라 다음과 같이 손실이 발생하게 된다. 스위칭 상태의 구분은 NPC와 동일하게 구분할 수 있다. 인버터가 Positive half cycle에서 동작하며 상전류가 0보다 작을 때 그림1. (a)와 (b)상태를 반복하며 동작하게 된다. T type 인버터의 출력전류는 P상태에서 D1을 통해 도통하여 1개의 스위칭 소자를 통해 +dc/2로 흐르며, O상태에서는 D2와 T3 2개의 스위칭 소자를 통해 도통하게 된다. 스위칭 상태가 O→P로 변화할 때 D2의 스위칭 손실과 T3의 스위칭 Off손실이 발생하며, P→O로 스위칭상태가 변화할 때 D1에서 스위칭 손실이 발생하게 되며, T3에서는 스위칭 On 손실이 발생하게 된다.

2.2 DSVPWMx 방식

2.2.1 육샷전압을 이용한 대칭 SVPWM방식

$$v_{a,bc}^{**} = v_{a,bc}^* + v_z^*$$

$$v_z^* = \frac{-[\max(v_a^*, v_b^*, v_c^*) + \min(v_a^*, v_b^*, v_c^*)]}{2} \quad (1)$$

육샷전압을 이용한 대칭 SVPWM방식은 일반적인 상전압에 서 극전압을 뺀 육샷전압을 상전압 지령에 더해주어 구현하는 방식으로 복잡한 전압벡터의 인가 시간 계산 과정 없이 각 소

자의 게이팅 인가 시간을 위의 식(1)을 이용하여 간단히 계산할 수 있다는 장점이 있다.

2.2.2 DSVPWMx 방식

DSVPWMx 방식은 기존의 DPWM 방식에서 인버터의 지령전압을 60°씩 6개로 나누는 것과는 다르게 SVPWM 방식의 지령전압을 12개의 sector로 나누어 제로시퀀스 전압을 더하여 지령전압을 생성하며 블록 다이어그램은 그림 3과 같으며 [1]를 통해 간단하게 DSVPWMx의 지령전압을 간단하게 구현할 수 있다.

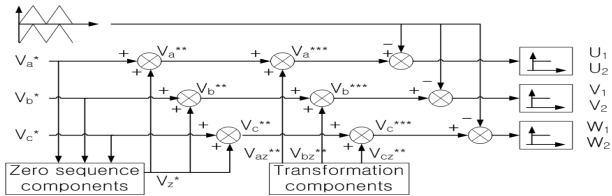


그림 3 DSVPWMx 생성 블록 다이어그램
Fig. 3 Pulse generating method of DSVPWMx

2.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 3레벨 NPC인버터와 T type 인버터에 DSVPWMx 기법을 적용하였을 때 발생하는 손실을 계산하기 위해 Psim Thermal Module을 활용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 인버터의 손실을 확인하기 위한 방법으로 10kVA 용량의 부하를 구성하고, 스위칭 주파수와 전압이용률, 역률을 가변시키면서 멀티레벨 인버터에서 발생하는 손실을 비교 분석하였다.

그림 4는 NPC인버터의 스위칭 주파수 변화에 따른 인버터의 손실을 나타낸다. 스위칭 주파수가 증가함에 따라 DSVPWM PN0과 DSVPWMPN2 방식에서 가장 작은 손실이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 T type 인버터에서의 손실을 나타내며, 전체적인 손실의 크기는 NPC인버터보다 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 6과 7은 전압이용률에 의한 손실량을 보인다. 작은 전압이용률에서는 DSVPWMPN1이 가장 작은 손실을 보이지만 전압이용률이 커질수록 DSVPWMPN0 방식

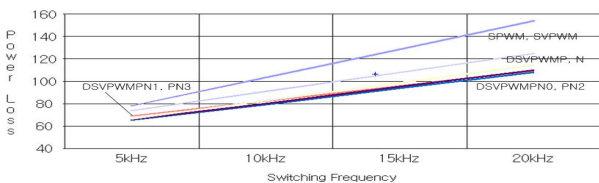


그림 4 스위칭 주파수 변화에 따른 3레벨 NPC 인버터의 손실
Fig. 4 Power losses of 3L-NPC inverters with different switching frequencies

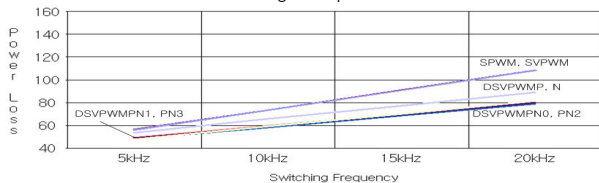


그림 5 스위칭 주파수 변화에 따른 3레벨 T-type 인버터의 손실
Fig. 5 Power losses of 3L-T-type inverters with different switching frequencies

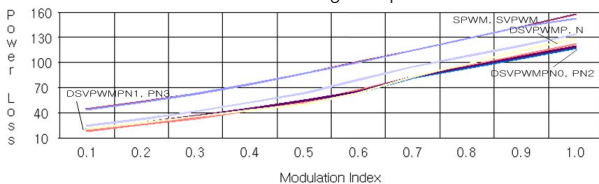


그림 6 전압이용률 변화에 따른 3레벨 NPC 인버터의 손실
Fig. 6 Power losses of 3L-NPC inverters with different modulation index

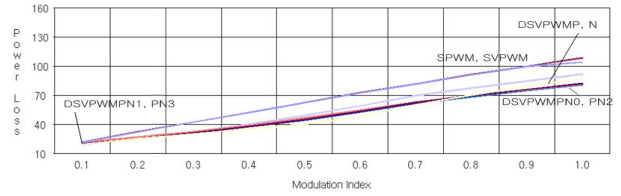


그림 7 전압이용률 변화에 따른 3레벨 T-type 인버터의 손실
Fig. 7 Power losses of 3L-T-type inverters with different modulation index

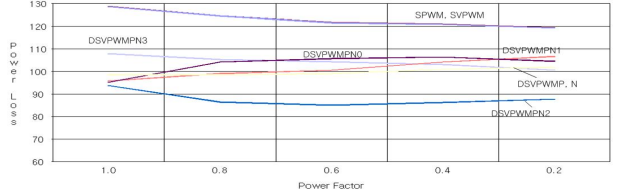


그림 8 역률 변화에 따른 3레벨 T-type 인버터의 손실
Fig. 8 Power losses of 3L-T-type inverters with different Power Factor

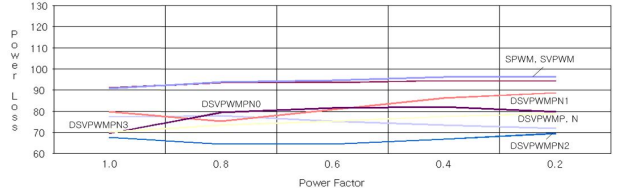


그림 9 역률 변화에 따른 3레벨 T-type 인버터의 손실
Fig. 9 Power losses of 3L-T-type inverters with different Power Factor

이 가장 작은 손실이 발생한다. 그림 8과 9는 역률에 의한 손실량을 보인다. 전체 역률 범위에서 DSVPWMPN2 방식의 손실량이 가장 작게 나타나며 각 PWM 방식이 역률에 따라 손실의 크기가 다르게 나타난다.

3. 결론

본 논문에서는 멀티레벨 인버터의 손실량을 비교하기 위해 멀티레벨 인버터의 스위칭 상태의 변화에 따른 스위칭 소자의 손실을 확인하였으며, 이로부터 T type 인버터가 평균적으로 도통되는 스위칭 소자 개수 측면에서 NPC 인버터보다 유리하게 나타날 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 DSVPWMx 방식을 적용하여 각각의 PWM 지령전압 패턴에 의해 인버터를 동작시킬 때 스위칭 주파수와, 전압이용률, 역률에 따라 변화하는 손실의 크기를 비교하였다. 시뮬레이션 결과 T type 인버터가 손실적인 측면에서 NPC 인버터보다 우수하게 나타났으며, PWM 방식별로 시스템 조건에 따라 인버터의 손실이 다르게 나타나는 것을 검증하였다.

이 논문은 “충청지역사업평가원”의 “고신뢰성 대용량 태양광 전력변환시스템 개발”로 수행된 연구결과임.

참고 문헌

[1] S. L. An, X. D. Sun, Q. Zhang, Y. R. Zhong, and B. Y. Ren, "Study on the Novel Generalized Discontinuous SVPWM Strategies for Three phase Voltage Source Inverters," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 781-789, 2013.

[2] M. Schweizer, J. W. Kolar, "Design and Implementation of a Highly Efficient Three Level T Type converter for Low Voltage Application", *IEEE Transactions on Power electronics*, vol. 28, no. 2, pp. 899-907, 2013.