

고장 허용 운전을 위한 하이브리드 멀티레벨 T-type 인버터 토폴로지

김민솔, 고영종
부경대학교 전기공학부 전기공학전공

Hybrid Multilevel T-type Inverter Topology for Fault Tolerant Operation

Min-sol Kim and Youngjong Ko
Department of Electrical Engineering, Pukyong National University

ABSTRACT

본 논문은 태양광 발전 시스템에서 하이브리드 멀티레벨 T-type 인버터의 스위칭 고장에 대응하기 위한 새로운 토폴로지를 제안한다. 멀티레벨 인버터는 다수의 전력 반도체 스위치를 가지고 있어 이러한 스위치 고장은 전체 PV 시스템에 심각한 손상을 입힌다. 그러므로 멀티레벨 인버터의 고장 허용(fault-tolerant)은 신뢰성 측면에서 중요하게 인식되고 있다. 본 논문에서 제안하는 멀티레벨 인버터의 허용 제어는 바이패스 운전을 통해 이루어진다. 제안하는 기법의 성능은 시뮬레이션 결과를 통해 검증된다.

1. 서 론

태양광 발전 시스템에서 효율성과 신뢰성은 매우 중요하게 고려된다. 멀티레벨 인버터는 레벨의 수가 높을수록 출력 파형의 고조파를 저감시켜 전력품질이 향상되고, 스위칭 손실이 감소하여 효율 상승과 필터 및 기기 비용절감 등 이점을 갖고 있다^{[1][2]}. 따라서 멀티레벨 인버터는 대용량 태양광 발전 시스템에 주로 적용되고 있다.

하지만 멀티레벨 인버터는 많은 전력 반도체 스위치를 사용하므로 스위치의 고장은 전체 시스템에 심각한 손상을 초래할 수 있다. 따라서 멀티레벨 인버터의 고장 허용(Fault-tolerant)운전은 중요한 문제로 인식되고 있다. 고장 허용 운전은 인버터 시스템의 안정성을 보장하기 위해 고장 스위치의 신속한 진단 및 격리, 예비 스위치 회로의 기술이 사용된다^[2]. 예비 스위치를 사용하지 않을 경우 단일 고장에서만 우회경로를 생성하므로 다중 고장의 위험을 감소하는 문제가 있다. 반면 예비 스위치 회로를 구성하는 경우 내부 기생저항으로 인한 도통 손실과 출력전압 감소가 발생할 수 있지만, 다중 고장 상황에서도 바이패스 운전을 하는 것이 안정성 측면에서 유리하다.

본 논문에서는 고장 허용 운전을 위한 적은 전력 반도체 스위치를 사용하는 멀티레벨 하이브리드 T-type 인버터를 제안한다. 기존의 예비 스위치를 활용하여 스위치 고장 시 고장이 발생한 셀을 바이패스 하는 것과 달리 제안한 토폴로지는 전압 레벨을 감소를 통한 운전을 유지할 수 있다. 제안한 토폴로지에서도 고장 상황 별 동작원리를 소개하고 시뮬레이션을 통해 허용운전 성능을 검증한다.

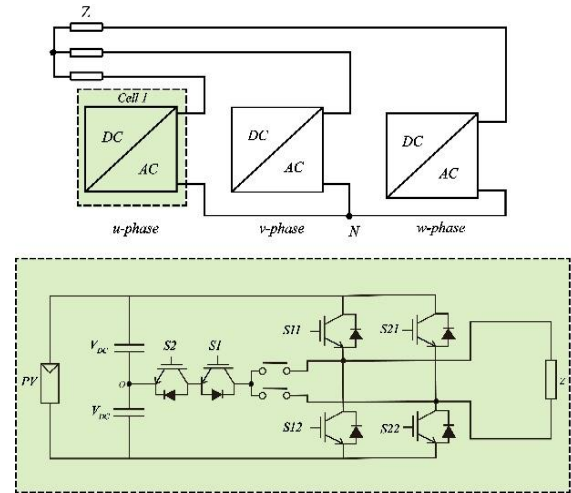


그림 1 제안하는 하이브리드 멀티레벨 T-type 토폴로지.
Fig.1 Proposed Hybrid Multilevel T-type Topology.

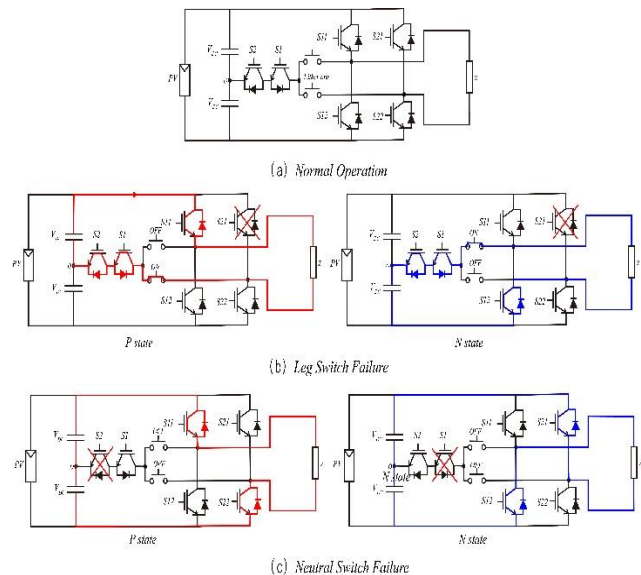


그림 2 고장 상황 별 동작원리: (a) Normal Operation, (b) Leg Switch failure 및 (c) Neutral Switch Failure.

Fig. 2 Operation principle under various failure scenarios: (a) Normal Operation, (b) Leg Switch failure and (c) Neutral Switch Failure.

2. 제안하는 토폴로지

본 논문에서는 그림 1와 같은 토폴로지를 제안한다. 제안된 토폴로지는 예비 스위치를 활용을 통한 T-type 멀티레벨 인버터를 보여준다. 이 장에서는 스위치 고장 위치에 따른 허용운전에 대해 상세히 설명한다.

2.1 정상 동작

그림 2 (a)에서 제안하는 토폴로지는 정상 동작 시 기계적 스위치가 한방향으로 스위칭 되어 5-레벨 출력전압을 생성할 수 있다. 이로 인해 DC-link의 부담이 절반으로 줄어 들어 PV스트링의 크기를 줄일 수 있으며, 작은 스트링 크기는 전압과 전류의 균형을 유지하면서 더 효율적인 태양광 시스템을 제공한다.

2.2 레그 스위치 고장

그림 2 (b)에서 단일 스위치 고장 시에는 기계적 스위치가 고장 레그로 연결되고 중성점 스위치는 단락상태를 유지한다. 이로 인해 Half-Bridge 동작으로 2-레벨 출력전압을 생성한다. 그러나 두 개 이상의 스위치가 고장일 경우, 기계적 스위치가 동시에 단락 되어 0전압을 나타내는 기존 동작을 수행한다.

2.3 중성점 스위치 고장

중성점 스위치 고장시, 전체 기계적 스위치 개방을 통해서 Full-Bridge 인버터로 운전하며 3-레벨 출력전압을 생성한다. Full-Bridge 인버터는 자체적으로 DC-link를 제어하므로 이전에 설정된 수준을 유지한다. 또한 출력 레벨은 감소하지만, 기존의 출력을 표현할 수 있다.

4. 시뮬레이션

제안하는 인버터의 성능은 시뮬레이션을 통해 검증되고, 시뮬레이션 파라미터는 표1과 같다. 고장은 0.05초에 발생하도록 설정되었다.

그림 3은 레그 스위치 고장 상황을 나타내고 있다. 초기 정상적으로 5-레벨 T-type Hybrid 동작을 수행한다. 이후 고장 발생 시, 기계적 스위치로 전환하여 Half-Bridge로 동작한다. Half-Bridge 동작은 2-레벨 전압으로 동작하므로, 기존 동작에서 절반의 출력 전류로 삼상평형을 유지한다.

그림 4의 경우 중성점 스위치가 고장 상황을 나타내고 있다 고장 발생 후 모든 기계적 스위치가 개방되어 H-Bridge 동작으로 3-레벨로 운전하게 된다.

이러한 고장 상황에서 레벨 전환 방식은 출력전압의 감소에도 불구하고 최소한의 전력을 제공할 수 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

Table 1 Simulation parameters

Parameter	Value
DC-link	200[V]
Resistance	10[Ω]
inductance	10[μH]
Switching frequency	10[kHz]

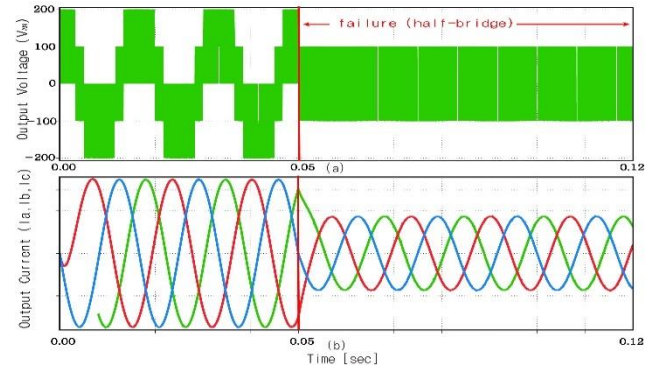


그림 3 레그 스위치 고장 경우 (a) 상전압, (b) 출력전류.

Fig. 3 Leg switch failure case (a) phase voltage and (b) Output Current.

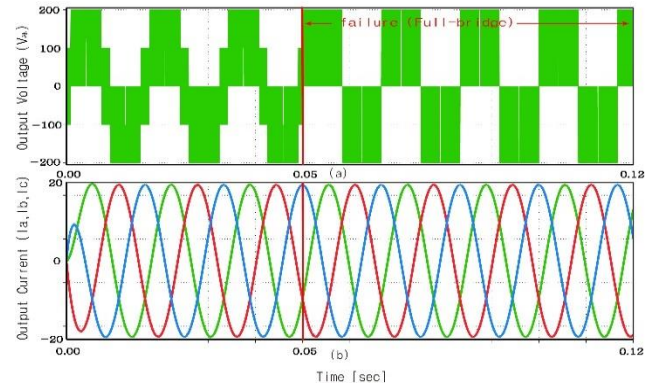


그림 4 중성점 스위치 고장 경우 (a) 상전압, (b) 출력전류.

Fig. 4 Neutral switch failure case (a) phase voltage and (b) output Current.

3. 결 론

본 논문은 태양광 에너지 발전 시스템에서 3상 멀티레벨 T-type Hybrid 인버터의 스위칭 고장에 대응하기 위해 고장 허용제어를 제안한다. 제안된 내용은 시뮬레이션을 통해 각 고장 상황 별 출력을 확인하였으며, 고장 상황에 최소한의 우회를 통한 전압 레벨의 생성은 다른 고장 허용제어 알고리즘과 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2020R1G1A1100406).

참 고 문 헌

- [1] C. Verdugo, S. Kouro, C. Rojas and T. Meynard, "Comparison of single-phase T-type multilevel converters for grid-connected PV systems,"
- [2] 현승욱, "Cascaded NPC H-bridge 컨버터/인버터의 역률 개선 및 전력분배 중성점 전이 기법." 국내박사 학위논문 성균관대학교 일반대학원, 2018. 서울