

중전압 계통 연계를 위한 대용량 태양광 발전 시스템의 최신 동향에 관한 고찰

차민영, 배영상, 오성진
카코뉴에너지(deborah.cha@kaco-newenergy.kr)

Analysis of Recent Trend of Large-Scale Photovoltaic Generation System for Medium-Voltage Grid Connection

Minyoung Cha, Youngsang Bae, Seongjin Oh
Dept. of R&D Center, KACO new energy Inc.

ABSTRACT

대용량 계통 연계형 태양광 인버터는 그 중요성이 부각되면서 현재는 수MW~수백MW에 이르는 발전소 개념으로 시장이 더욱 확대되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 대용량 태양광 발전소에 적합한 멀티 센트럴 구성 방식과 기존 토폴로지의 접근을 통한 시장의 최신 동향에 대해 기술하고자 한다.

1. 서 론

최근 일본의 강진 및 원자력 발전사태, 중동의 정전사태 이후 원유가격 상승 및 변동성 확대에 인하여 대용량 태양광 발전소의 중요성이 더욱 부각됨에 따라 산업용 및 발전용 계통 연계형 태양광 인버터 시장이 더욱 확대되었다.

대용량 계통 연계형 태양광 인버터는 용량 및 국가별 전압 구분에 따라 차이가 있지만, 대부분 전체적인 설비의 효율을 증대시키기 위해 20kV 이상의 중전압 계통에 바로 연계한다. 이는 중전압 변압기(Medium Voltage Transformer)의 구조에 따라 전체 시스템의 구성과 효율이 달라지고, 무변압기형 인버터도 계통과 전기적으로 분리하게 된다는 것을 의미한다. 따라서 기존 센트럴 방식의 무변압기형 인버터에서 고려되었던 누설전류의 문제도 사라지게 된다. 그러나 센트럴 방식의 무변압기형 인버터를 복권 중전압 변압기(Two winding MV Transformer)의 멀티 센트럴 방식으로 구성하면 누설전류에 대한 문제가 다시 부각되며, 이에 대한 대책으로 다양한 토폴로지 기술이 등장하고 있다.

본 논문에서는 중전압 계통의 중전압 변압기의 구조에 따른 멀티 센트럴 인버터의 구성 방식과 누설전류에 대한 대책으로 등장한 기존 토폴로지에 대해 살펴보고, 이와 관련된 장단점에 대해 기술하였다.

2. 중전압 계통 연계를 위한 태양광 발전 시스템

2.1 중전압 계통 연계를 위한 멀티 센트럴 인버터의 구성 방식

대용량 계통 연계형 태양광 인버터는 중전압 변압기를 통해 계통과 직접 연계되며, 센트럴 방식의 경우 모듈의 기생 커패시턴스로 인한 누설전류의 문제가 발생하지 않는다. 그림 1(a), (b)와 같이 변압기형 인버터와 다권선 복권 변압기를 사용하여 멀티 센트럴 방식으로 구성한 경우에는 계통과 모듈 사이가 전

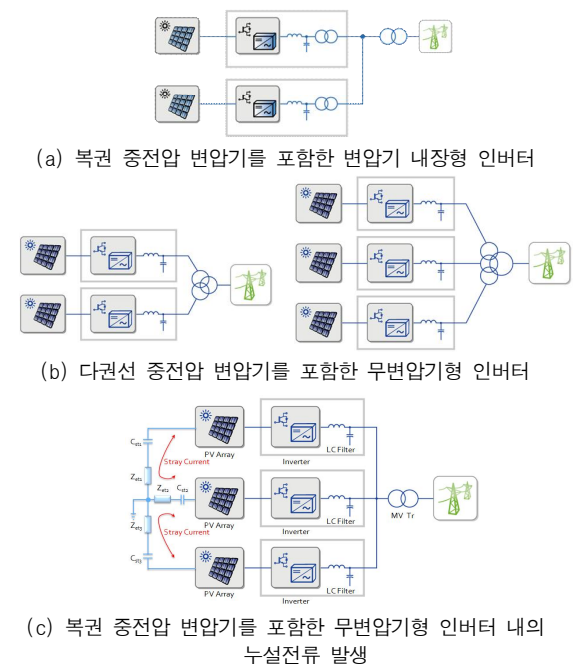
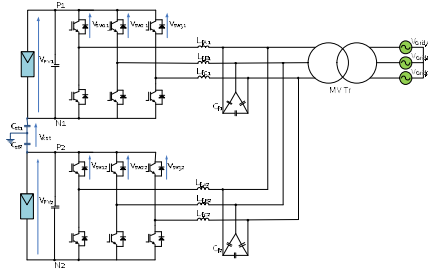


그림 1 중전압 변압기에 따른 멀티 센트럴 인버터의 분류
Fig. 1 Classification of multi-central inverter according to MV transformer

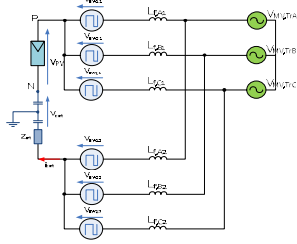
기적으로 분리되기 때문에 안정성에 문제가 없다. 그러나 이는 전체 시스템의 경제성 및 효율이 낮은 단점을 가지고 있어 태양광 어레이의 접지가 불필요한 경우에는 그림 1(c)와 같이 복권 변압기를 이용하는 방식을 채택하고 있다. 그러나 이 구성은 순환전류의 형태로 누설전류에 대한 문제를 야기하게 된다.

2.2 복권 중전압 변압기를 사용한 멀티 센트럴 인버터의 공통 모드 전압(Common Mode Voltage) 증가 모델

대부분의 태양광 모듈은 프레임과 대지 사이에 존재하는 기생 커패시턴스 성분에 의해 누설전류가 발생한다. 이는 태양광 모듈과 계통 사이의 전기적인 통로에 의해 순환되어 전체 시스템의 안정성 저하 및 손실을 야기한다. 특히 무변압기형 인버터를 복권 중전압 변압기의 멀티 센트럴 방식으로 구성할 경우 기생 커패시터에 스위칭 주파수 성분의 전압을 유기하고, 인버터 간의 순환전류 형태로 누설전류가 발생하므로 이를 반드시 고려해야 한다.



(a) 기생 커패시턴스를 포함한 인버터의 구조



(b) 멀티 센트럴 구성 방식의 공통 모드 모델

그림 2 기생 커패시턴스를 포함한 멀티 센트럴 인버터
Fig. 2 Multi-central inverter including the parasitic capacitance

그림 2(a)는 3FB 계통연계 인버터 2대를 복권 변압기를 이용하여 멀티 센트럴 방식으로 구성한 것이다. 3상이 평형하다고 가정하면 그림 2(b)와 같이 공통 모드 전압을 등가 모델로 나타낼 수 있다.

$$V_{cst} = -V_{SW12} - L_{f,A2} \frac{di}{dt} + L_{f,A1} \frac{di}{dt} + V_{SW11} - V_{PV} \quad (1)$$

$$V_{cst} = -V_{SW22} - L_{f,B2} \frac{di}{dt} + L_{f,B1} \frac{di}{dt} + V_{SW21} - V_{PV}$$

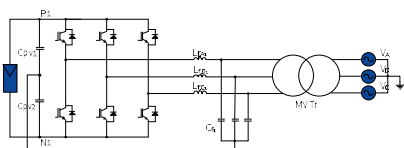
$$V_{cst} = -V_{SW32} - L_{f,C2} \frac{di}{dt} + L_{f,C1} \frac{di}{dt} + V_{SW31} - V_{PV}$$

$$V_{cst} = -\frac{V_{SW12} + V_{SW22} + V_{SW32}}{3} + \frac{V_{SW11} + V_{SW21} + V_{SW31}}{3} - V_{PV} \quad (2)$$

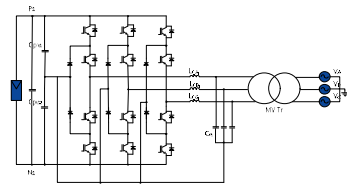
이와 같이 차동 모드 전압(Differential Mode Voltage)을 제외하더라도 기생 커패시터에 걸리는 전압으로 인하여 큰 누설 전류가 발생할 수 있다.

2.3 누설전류를 고려한 토폴로지 기술

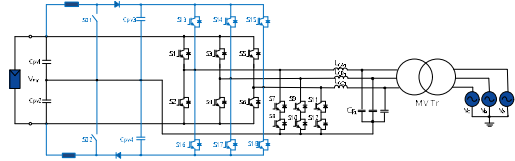
앞서 언급한 누설전류 문제를 해결하기 위하여 그림 3과 같이 DC 링크 단의 중성점과 계통의 접지를 직접 연결한 토폴로지를 채택하고 있다. 이는 중성선을 통해 커패시터에 걸리는 전압은 일정하게 함으로써 누설전류를 저감시킨다. 표 1은 대표적인 토폴로지들의 특징을 비교하여 나타낸 것이다.



(a) 3FB-SC 구조



(b) NPC 구조



(c) 5-level 구조

그림 3 누설전류를 고려한 토폴로지의 분류
Fig. 3 Classification of topology considering leakage current

표 1 누설전류를 고려한 토폴로지 특성 비교
Table 1 Comparison of topology characteristic considering leakage current

종류	3FB SC	3×NPC	5 level
스위치/다이오드 수	6/6	12/18	18/18
전압 불균형 제어	○	○	○
출력 필터 크기	대	중	소
누설전류	매우 낮음	매우 낮음	매우 낮음
최대 효율	96[%]	98[%]	98.5[%]
출력 형태	2 level	3 level	5 level
Core 손실	높음	낮음	매우 낮음

2.4 멀티 센트럴 방식의 주요 제품

태양광 인버터 업체의 세계적인 선두주자인 SMA는 다권선 중전압 변압기를 이용한 대용량 멀티 센트럴 인버터를 주요 제품으로 채택하고 있다. 또한 최근 대용량 태양광 인버터에서 두각을 나타내는 Power One은 복권 중전압 변압기를 사용한 제품으로 시스템 효율을 극대화하고, 이 외에 태양광 모듈의 접지가 반드시 필요한 미국 시장에서는 다권선 변압기도 채택하고 있다. 이처럼 설치 규정과 토폴로지의 종류에 따라 다권선 및 복권 변압기의 용도와 중요성이 달라진다.

3. 결 론

본 논문에서는 중전압 계통에 연계되는 멀티 센트럴 인버터의 구성 방식과 중전압 변압기의 종류에 따른 시스템의 특성을 기술하였다. 태양광 발전 시스템의 효율 및 경제성을 고려한다면 복권 중전압 변압기를 이용한 멀티 센트럴 방식이 유리하지만, 안정성의 측면과 모듈의 접지를 필요로 하는 규정에서는 다권선 변압기의 채택이 필수 불가결하다. 따라서 시스템의 최대 효율 달성을 목표로 하는 두 방식에 대한 토폴로지적인 접근은 시장 경쟁력을 확보하기 위한 필수 전략이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] Tamas K., Remus T., Pedro R., Gerardo.V, Emiliano A., "A New High Efficiency Single Phase Transformerless PV Inverter Topology", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 1, pp. 184 191, 2011, Jan.