

3레벨 NPC 토폴로지를 활용한 고효율 1500V PV 인버터

전세봉, 김병돈, 정일련
알에스오토메이션(주)

High Efficiency 1500V PV Inverter with 3 Level NPC Topology

Se-Bong Jeon, Byung-Don Kim, Il-Ryeon Jeong
RS Automation Co., Ltd.

ABSTRACT

오늘날 태양광 발전 시스템은 태양광 모듈 접속합과 DC 케이블의 수를 줄여 설치비용을 줄이고, 태양광 모듈과 태양광 인버터 사이의 DC와 AC 케이블 손실을 줄여 태양광 발전 시스템의 효율을 높일 수 있는 DC 1500V 시스템으로 바뀌었다. 또한, 태양광 발전용 인버터도 상승된 입력 전압에 맞는 제품들이 출시됐으며, 효율 개선을 위해 전력 토폴로지도 기존 2레벨에서 3레벨 기술을 적용한 태양광 인버터들이 다수 출시되었다. 이러한 태양광 발전용 인버터 시장추세에 맞게 알에스오토메이션은 3레벨 NPC 토폴로지를 사용한 고효율의 DC 1500V Central Type 625kW 태양광 발전용 인버터를 개발하여 시장에 출시하였다. 본 논문에서는 출시된 1500V 태양광 발전용 인버터의 성능과 특징에 대하여 소개하고자 한다.

1. 서 론

근래의 국내외 태양광 모듈은 절연 내력이 높아 태양광 모듈 간 직렬연결 가능 개수가 많아지고, 태양광 모듈 자체의 광변환 효율이 증가되었다. 이로 인해 태양광 발전 사업자들은 태양광 모듈의 접속합과 DC 케이블 수를 줄임으로써 태양광 발전 시스템 설치비용을 낮출 수 있는 DC 1500V 발전 시스템을 선호하고 있다. 같은 발전 용량으로 비교하였을 때 기존 DC 1000V 발전 시스템보다 접속합 수와 DC 케이블 비용이 절감될 뿐만 아니라 DC 케이블 손실을 약 20%, AC 케이블 손실 약 60%정도 감소하기 때문에 전체 발전 시스템의 효율이 높아지고 그 결과로 태양광 발전 시스템의 전체 생산전력을 증가 시킨다.

이와 같은 DC 1500V 태양광 발전 시스템에는 기존 2레벨 태양광 발전용 인버터보다 전력반도체 수는 많아지지만 스위칭 손실이 적어 변환 효율을 높일 수 있고, 출력 전류가 정현파에 가까우며, 누설전류와 출력 전류 왜형률 (Total Harmonic Distortion)이 작아 전력 계통에 양질의 전력을 제공할 수 있는 3레벨 인버터를 선호한다.

본 논문에서는 알에스오토메이션이 자체 개발한 3레벨 NPC 토폴로지 전력 스택이 적용된 DC 1500V Central Type 625kW 태양광 인버터의 성능과 특징을 소개하고자 한다.

2. 625kW 태양광 발전용 인버터 소개

2.1 3레벨 NPC 전력 스택

개발된 태양광 발전용 인버터는 3레벨 NPC 토폴로지 전력 회로로 구성되어 있으며, 제어기와 센싱 회로 그리고 전력 스택이 일체화된 모듈형 PEBB (Power Electronic Building Block) 구조를 갖는다.



1 3레벨 NPC 625kW 태양광 인버터
Fig. 1 3-Level NPC 625kW Solar Inverter

태양광 발전용 인버터의 대용량화 용이성과 멀티 MPPT 대응 그리고 향후 유지보수의 편의성을 고려하여 625kW 단위로 모듈화된 PEBB를 개발하였다. 모듈화된 전력스택은 DC Link busplate 구조 설계를 최적화 하여 기생 인덕턴스를 줄일 수 있었고, 스위칭 시에 각 IGBT의 전압·전류 스트레스를 최소화 하여 시스템의 안정성을 증가시켰다.^[1]

그림 2와 같이 더블 펄스 시험을 통해 각 스위치별 게이트 저항을 조정함으로써 각 상 4개 IGBT의 스위칭 지연시간을 서로 다르게 하였고 이를 통해 기생 인덕턴스에 의한 역기전력을 감소시켰다.



그림 2 더블 펄스 시험 파형
Fig. 2 Double Pulse Test Waveform

표 1 각 스위치별 게이트 저항과 스위칭 시간

Table 1 Gate resistance and switching time for each switch

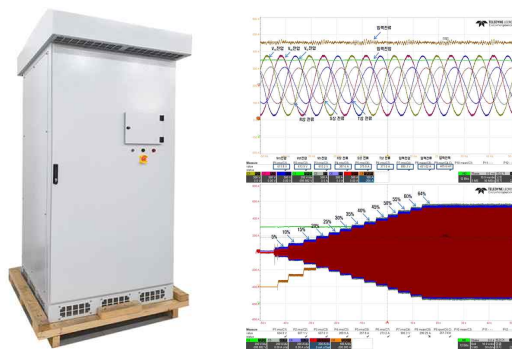
No.	Part		Rg [Ω]	tsw [μs]
1	Q1/Q4	On	1.2	1.6
		Off	3.4	3.4
2	Q2/Q3	On	1.1	1.5
		Off	5.0	4.4

표 1은 더블펄스시험에 의하여 설정된 각 스위치의 게이트 저항과 스위칭 시간을 보여준다.

2.2 625kW 태양광 인버터의 성능 및 특징

개발된 태양광 인버터는 자체 테스트 베드를 통해 성능 검증을 하였으며, 공인 시험 기관을 통해 KS C 8565 규격에 따라 인증 시험을 진행했다. 그 결과 국내 타사 제품에 비해 높은 최대 효율 98.9%, 유로 효율 98.68% 나타내었고, 이 수치는 해외 동일 용량의 제품과 동등 수치임을 확인 할 수 있었다. 또한, MPPT 전압 범위가 해외 제품 및 국내 제품보다 넓은 870Vdc ~ 1300Vdc로 태양광 모듈 설계자가 다양한 직·병렬 구성을 할 수 있는 편의성을 제공한다.^{[2],[3]}

그림 3은 개발된 625kW 태양광 인버터의 외형을 나타내고 있으며, 제품 사양은 표 2와 같다.



3 1500V 태양광 인버터와 시험 파형

Fig. 3 1500V Solar Inverter and Test waveform

표 2 1500V 태양광 인버터 사양

Table 2 1500V Solar inverter specification

구분	Item	사양
시스템	상수	3상3선식
	설계방식	3 Level NPC 무변압기형
	최대효율	98.9%
	유로 효율	98.68%
입력	보호등급	IP44
	최대 전압	1500V _{dc}
	MPPT 범위	870V _{dc} ~ 1300V _{dc}
	최대 전류	733A _{dc}
출력	계통 전압	600V _{rms} (+10%/-12%)
	출력 전류	601A _{rms}
	역률	0.99이상 (+0.9/-0.9)
	주파수	60Hz (59.3Hz ~ 60.5Hz)
표준(Standard)	KS C 8565:2021	
	KS C IEC 62109-2-4.8	
기타	보호 기능	DC지락, 입력 과/저전압, 출력단락/과부하, 과열보호, 계통 과/저전압, 계통 과/저주파수, 단독운전 방지

개발된 인버터는 PEBB 전력스택 냉각팬의 속도제어 기능을 갖고 있다. 전력 스택에 온도센서에서 아날로그 신호를 받아

자체 개발한 온도 PI 제어 회로가 적용된 Fan 속도 제어기를 통해 전력 스택의 온도를 일정하게 유지함으로써 제어 전원의 소비를 저감하였다.

개발된 1500V 태양광 인버터는 KS C 8565 및 감전보호, 능동전압제어, DC지락 차단(KS C IEC 62109-2-4.8)에 대해 공인기관의 인증을 취득하였다. 그림 4는 성능 인증서를 보여주며, 표 3에 그 주요 결과를 나타낸다. 무변압기형 태양광 발전용 인버터임에도 2.15mA의 낮은 누설전류와 총합 3%이하의 출력 전류 왜형률은 계통 전력에 양질의 전력 품질 공급하고 태양광 발전 단지의 안정성을 향상시킬 것이다.



그림 4 1500V 태양광 인버터 공인 인증서

Fig. 4 1500V Solar Inverter performance certification

표 3 1500V 태양광 인버터 인증시험 결과

구분	측정치
절연저항 시험	입력 17.6GΩ
	출력 19.6MΩ
단독운전 방지기능 시험	0.07초
	0.05초
	0.03초
교류출력전류 변형률 시험	총합 3.06%
	각차 2.35%
누설전류 시험	2.15mA
효율 시험	최대 효율 98.9
	EURO 효율 98.68
대기 손실 시험	49.87W

3. 결 론

본 논문에서 자체 개발된 3레벨의 NPC 토폴로지의 DC 1500V 센트럴 타입의 625KW 태양광 인버터의 성능과 특징에 대하여 소개하였고 625kW 인버터를 시작으로 1.25MW에서 3MW 인버터까지의 다양한 제품을 개발하고 출시할 예정이다..

참 고 문 헌

- [1] Jonathan Dodege, P.E., "Gate Drive and Protection of Three-Level Inverters", Application note UnitedSiC AN0020, 2018, December
- [2] A. Lewicki, Z. Krzeminski, and H. Abu-Rub, "Space-Vector Pulsewidth Modulation for Three-Level NPC Converter with the Neutral Point Voltage Control," IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 58, no. 11, pp. 5076-5086, 2011. Nov.
- [3] 최의민(Ui-Min Choi),정해광(Hea-Gwang Jeong),and 이교범(Kyo-Beum Lee). "계통연계형 3-레벨 NPC 인버터 시스템의 중성점 전압 불평형 제어." 전력전자학술대회 논문집 2011.11 (2011): 213-214.