

18[kVA]급 3상 인버터의 설계 및 성능평가

이태승, 최제왕, 김민성, 이동주
 국제통신공업(주)

Design and Performance Test of Three Phase 18[kVA] Inverter

Tae-seung Lee, Je-wang Choi, Min-seong Kim, Dong-ju Lee
 Kukje Electric MFG. Co., Ltd.

ABSTRACT

본 연구에서는 무정전 전원장치의 서브 시스템인 18[kVA]급 3상 인버터의 설계 및 성능평가를 다룬다. 인버터는 DC 입력 전원을 AC로 변환하여 부하에 직접 공급하기 때문에, 민감하고 중요도가 높은 부하일수록 전압의 크기, 주파수의 안정도, 부하 급변시 과도특성 등이 중요하다. 특별히 높은 수준을 요구하는 MIL-STD-1399 규격에 준한 성능평가를 진행하였으며, 인버터만의 구체적 성능을 평가하기 위해서 무정전 전원장치에서 인버터 부분을 분리해 시료를 제작하였다.

1. 서론

본 논문에서는 사양, 간략화된 구성 및 성능검증을 위한 시험 결과를 통해 당사가 개발한 인버터를 소개하고자 한다.

2. 요구사항 및 설계

2.1 요구 사양

DC전압 160~330[Vdc]를 입력받아 AC 3상 115[V] 60[Hz] 고품질 전원으로의 변환이 필요하며, 해당 시료의 구체적인 사양 및 설계 목표는 하기 표 1과 같다.

표 1 18[kVA] 인버터 설계 목표 사양
 Table 1 Simplified Specification of 18[kVA] Inverter

항목	사양
용량	18[kVA]
입력/출력전압	160~330[Vdc] / 3상 115[V] 60[Hz]
과부하 내량	150[%]. 5[Min]
효율	≥92% (정격 부하), ≥90% (50% 부하) ≥88% (25% 부하)
출력전압 편차	≤1.0% (정격부하시)
불평형 부하	≤100% (특정 상에만 부하인가)
과도 특성	≤0.2sec, ≤10%, (50→100→50% 급변)
출력전압 THD	≤1.5% (정격부하시)
차수별 고조파	≤1.0% (정격부하시)
주파수 오차	≤0.1% (정격부하시)
소음	≤60dB (1m 전방)
IP 등급	43
냉각방식	강제 풍냉식

2.2 단선도 및 주요소자

아래 그림 1은 18[kVA]급 인버터의 간략화된 회로이다. AC 및 DC 양측 터미널에서 전도성 노이즈의 감쇄를 위해 EMI 필터가 삽입되어있으며, DC 입력단에 초기충전 회로부를 삽입하여 입력전압을 인지한 후 자동으로 내부 DC-Link 콘덴서의 초기충전을 수행할 수 있도록 구성되어있다.

AC 및 DC 측에 퓨즈를 삽입하여 사고전류의 대비가 가능하며, IGBT 내부의 NTC(=Negative Temperature Coefficient)를 통해 IGBT의 내부온도를 지속적으로 감시하여 IGBT 내부의 과온도 상황을 인지한 경우 FAN 구동을 통해 IGBT를 냉각하는 선택적 강제 풍냉식의 냉각방식을 채택하고 있다.

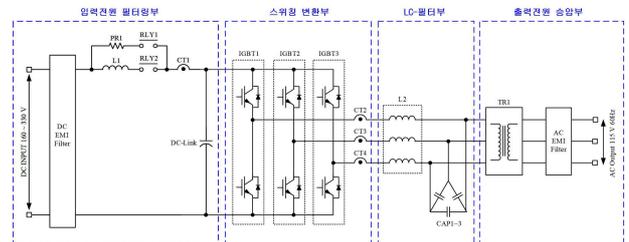


그림 1 18[kVA]급 인버터의 간략화된 회로도
 Fig. 1 Simplified Diagram of 18[kVA] Inverter

3. 성능시험

3.1 전기적 성능시험

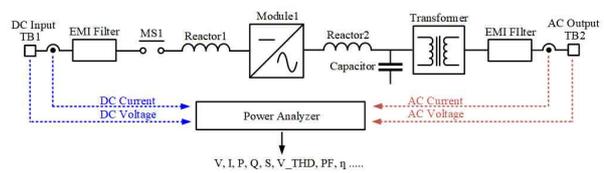
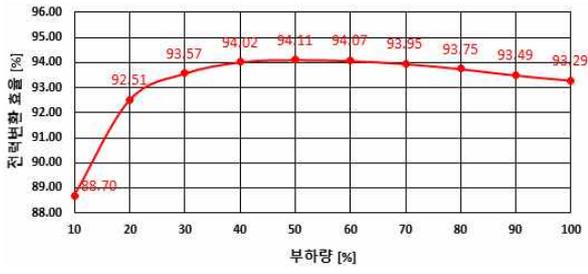
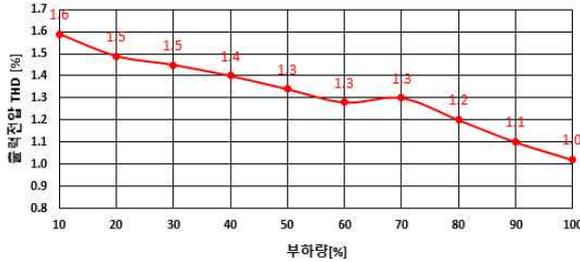


그림 2 18[kVA]급 인버터의 시험 구성
 Fig. 2 Test Configuration of 18[kVA] Inverter

상기 그림 2와 같이 시험환경을 구축하였다.^[1] 전력분석계를 이용하여 출력전압 THD, 효율, 및 전압/전류의 크기를 부하량 별로 취득하였으며, 출력전압의 편차 및 주파수 오차는 측정 데이터를 토대로 계산을 통해 도출하였다.



(a) 전력변환 효율



(b) 출력전압 THD

그림 3 인버터의 전기적 주요 성능시험
Fig 3 Performance Test of Inverter

표 2 18[kVA] 인버터의 정상상태 전압편차
Table 2 Steady State Voltage Tolerance of 18[kVA] Inverter

부하량 / 입력전압	330[Vdc]				160[Vdc]			
	출력 선간전압[V]				출력 선간전압[V]			
25%	V_RS	V_ST	V_TR	평균	V_RS	V_ST	V_TR	평균
	114.8	115.1	115.1	115.0	114.9	114.9	115.0	115.0
50%	출력 선간전압[V]				출력 선간전압[V]			
	V_RS	V_ST	V_TR	평균	V_RS	V_ST	V_TR	평균
114.9	115.0	114.8	114.9	114.6	115.0	114.9	114.8	
100%	출력 선간전압[V]				출력 선간전압[V]			
	V_RS	V_ST	V_TR	평균	V_RS	V_ST	V_TR	평균
114.6	114.8	114.8	114.7	114.8	114.9	114.8	114.8	

상기 그림 3에 전력변환 효율 및 출력전압 THD를 부하량에 따른 그래프 형식으로 표시하였으며, 출력전압 THD는 세 선간 전압 중 가장 취약한 부분을 기준으로 선정하였다.

상기 표 2에서 인버터의 정상상태 전압편차를 나타내고 있으며, 최대/최소의 두 가지 입력전압을 기준으로 부하량에 따른 각 선간전압의 평균값이 목표 범위인 113.85~116.15[V]를 만족한다. 출력 주파수는 모든 경우에 59.99[Hz]로 동일하였다.

3.2 온도상승 시험

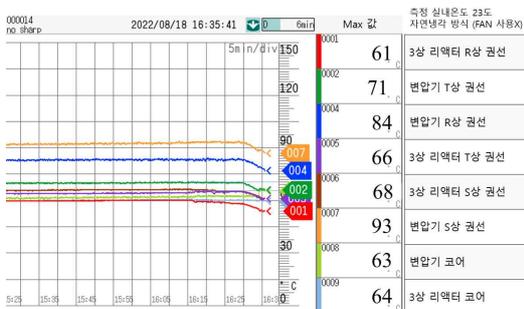


그림 4 정격 운전시 변압기 및 리액터의 온도포화
Fig 4 Saturated Temp. at 100% Power of Transformer/Reactor

상기 그림 4는 정격부하가 인가된 상태에서 AC측의 승압용 출력 변압기와 3상 리액터의 온도상승시험 결과이다. 각 항목은 주변온도 25℃ 기준 125℃를 초과할 수 없다.

추가적인 기능으로 해당 인버터는 스위칭소자의 냉각용 팬의 고장을 검출할 수 있으며, 해당 상황 발생시 ‘도어 개방’ 상태로 50% 부하가 인가된 상태에서 연속 운전이 가능하다. IGBT 내부온도의 최대값은 NTC로 검출한 값을 기준으로 130℃까지 권장되지만, 설치 장소의 실내온도가 40℃ 이상인 것과 과부하 150%를 고려하여 약 80℃의 온도에서 냉각용 팬을 구동하는 것이 적절해 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 당사가 설계 및 제작한 18[kVA]급 인버터 시료의 설계에 적용된 핵심 소자 및 회로 구성을 소개하고 주요 전기적 성능 및 온도특성시험의 결과를 확인하였다.

UPS의 서브 시스템 중 하나인 인버터 회로를 별도로 분리하여 시스템을 구성하고, 해당 시료의 전력변환 효율 및 출력전압 THD 등의 주요 전기적 성능시험을 수행하였으며 정격부하 상태에서 승압용 출력 변압기 및 3상 리액터의 온도상승 시험을 통해 설계의 적절성을 확인하였다.

25%, 50%, 100% 부하시 전력변환 효율은 각각 93.0%, 94.11%, 93.29% 이상이며, 출력전압 THD 및 각 차수별 고조파의 결과값 또한 설계 목표 사양을 만족한다.

또한 H중의 AC측 3상 리액터 및 승압용 출력 변압기의 코어 및 권선 온도의 포화된 온도 최대값이 약 93℃이기 때문에 설계의 적절성이 확인되며, 향후 Full SiC MOSFET 소자를 해당 시스템에 적용하여 더욱 높은 효율의 인버터 시스템의 설계 및 검증을 계획하고 있다.

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.
(20212020800020. 통합형 최적설계 플랫폼 기반 초고효율 전력변환시스템 개발)

참고 문헌

- [1] 이태승, 황동욱, 이동주, 백석민, “스마트 ESS 전력제어모듈용 3상 PCS 시제품 성능시험”, 전력전자학술대회 논문집, pp.532~534, 2015.7
- [2] 한국스마트그리드협회, “전기에너지저장시스템-제2부 : 시험방법 SGSF-025-5-2 : 2016”, 2016.12
- [3] 한국스마트그리드협회, “전기에너지저장시스템용 전력변환 장치의 성능 요구사항 SPS-SGSF-025-4-1972 : 2019”, 2019.03
- [4] Infineon, “Using the NTC inside a Powr Electronic Module”, Application Note, 2009.11
- [5] 이태승, 양인기, 이동주, 강윤기, “수요관리용 3상 EES시스템의 성능시험 및 운용”, 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회논문집, pp.116~118, 2018.4