

3-레벨 전력변환모듈 손실 분석 및 열 분포 시뮬레이션

백석민*, 황동옥*, 최준영*, 이우철**
 국제통신공업(주)*, 국립한경대학교**

Power Loss Analysis and Thermal Simulation of 3-Level Power Conversion Module

Seok Min Paik*, Dong Ok Hwang*, Jun Young Choi*, Woo Cheol Lee**
 Kukje Electric Co., Ltd.*, Hangkyong National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 기존에 널리 사용되고 있는 3상 인버터와 태양광 인버터 및 무정전 전원공급시스템의 고효율화를 위해 최근 적용이 확대되고 있는 3상 T형 3 레벨 인버터에서 각 전력반도체에서 발생하는 손실을 구하고 그 결과를 비교, 분석하였다. 또한 그 손실 특성을 기초로 해서 3상 50kVA급 기존 3상 인버터 및 3상 T형 3 레벨 인버터 전력변환모듈을 설계하였고 전산유체해석 소프트웨어를 이용해서 전력변환모듈 내부 방열판의 상세 온도 분포를 해석하고 그 비교 분석 결과를 제시하였다.

1. 서론

현재, 높은 전원품질과 전원공급 신뢰도를 요구하는 중요 부하설비에 전원공급을 하기 위해서 그림 1과 같이 완벽한 전력품질보상기능을 제공하는 온라인 이중변환방식 무정전 전원공급시스템을 기반으로 비상전원공급시스템을 구축하여 사용하고 있는 실정이다. 단시간 정전보상을 위해 축전지 방전으로 부하에 연속적인 전원공급을 하고 장시간 정전보상을 위해서는 비상용 디젤 발전기 출력전원을 무정전 전원공급시스템을 통해서 부하에 전원을 공급한다.^[1] 이때 3상 인버터부는 입력전원 정상시 뿐만 아니라 입력전원 정전시, 부하에 공급되는 전원품질뿐만 아니라 운전효율을 결정하는 전력변환부인데, 기존 무정전 전원공급시스템에서는 그림 2와 같은 단상 하프브릿지 기반의 3상 인버터가 널리 사용되어 왔다. 하지만 무정전 전원공급시스템의 운전 효율 향상을 위해서 기존 3상 인버터보다 손실이 적은 3상 T형 3 레벨 인버터가 도입되고 있는 실정이다.

그림2와 같이 기존 3상 인버터의 전력반도체(T1, D1, T4, D4)에 인가되는 전압이 모두 V_{dc} 인 반면에서 그림 3과 같은 회로 구성을 하는 3상 T형 3 레벨 인버터는 상하 전력반도체(T1, D1, T4, D4)에는 V_{dc} 전압이 인가되지만, 좌우 전력반도체(T2, D2, T3, D3)에 인가되는 전압은 $V_{dc}/2$ 가 되어 스위칭 손실이 현저히 감소시킬 수 있는 구조를 가지고 있어 전체적인 손실을 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 3상 T형 3 레벨 인버터는 PWM 전압과형에 고조파 함유량이 기존 3상 인버터에 비해서 적어서 출력 필터를 최소화할 수 있어 전력변환모듈의 소형, 경량화에 유리하다.^[2]

본 논문에서는 3상 50kVA급 기존 3상 인버터 및 3상 T형 3 레벨 인버터 내부 전력반도체의 도통 손실 및 스위칭 손실을 시뮬레이션 모델을 이용해서 구하고 이를 비교, 분석하였다. 그리고 그 결과를 기초로 해서 전력변환모듈을 각각 설계하였고 전산유체해석 소프트웨어를 이용해서 전력변환모듈 내부 방열판의 상세 온도 분포를 해석함으로써 설계된 전력변환모듈의 방열 성능을 비교, 검증하였다.

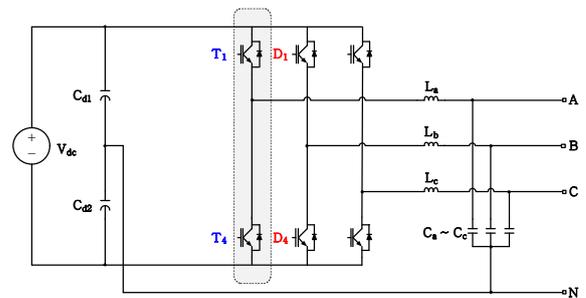


그림 2 기존 3상 인버터 방식
 Fig. 2 Conventional 3 phase inverter topology

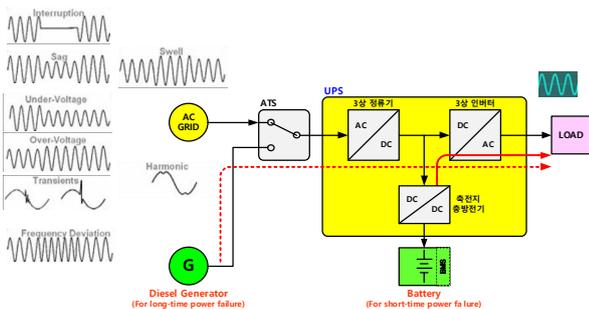


그림 1 비상전원공급 시스템
 Fig. 1 Emergency power supply system

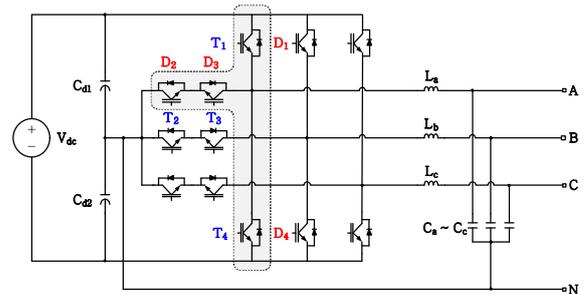


그림 3 3상 T형 3-레벨 인버터
 Fig. 3 3 phase T-type 3-level inverter topology

2. 전력반도체 손실분석

표 1의 사양을 만족하는 기존 3상 인버터(그림 2)와 3상 T형 3 레벨 인버터(그림 3)에 120% 과부하를 인가한 상태에서 발생하는 손실을 Psim 소프트웨어를 이용해서 해석한 결과는 그림 4와 같다. 3상 T형 3 레벨 인버터가 기존 3상 인버터에 비해서 IGBT와 다이오드의 도통손실이 17[W] 상승하지만 스위칭 손실이 581[W]나 감소하기 때문에 전체 손실량은 2052[W]에서 1514[W]로 약 26.2% 감소하는 것을 확인할 수 있다.

표 1 인버터 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter of inverter

구분	항목	사양
입력	정격 전압	750[Vdc]
	정격 전압/주파수	3상 380/220[V], 60[Hz]
출력	정격 용량	50[kVA], pf=0.9 (지상)
	전압 THD	2[%]이하 (선형 부하시)
	과부하 내량	120[%], 10 [분]
	스위칭 주파수	10.8[kHz]

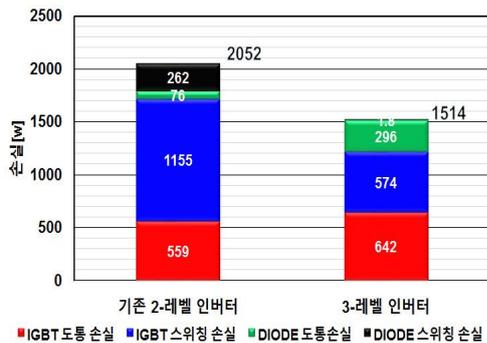


그림 4 전력반도체의 손실 비교

Fig. 4 Power loss comparison of power semiconductors

3. 전력변환모듈 설계 및 검증

3.1 방열 설계

표 2는 주변온도 40[°C]에서 3상 T형 3 레벨 인버터의 모든 전력반도체 내부 접합부 온도를 100[°C]이하로 유지하기 위한 설계 요구조건을 만족하도록 선정된 냉각 팬과 방열판 규격이다.

표 2 전력변환모듈 설계 파라미터

Table 2 Design parameters of power conversion module

구분	항목	사양
냉각팬	모델명	MC35 130x190
	최대 풍량	719 [m ³ /h]
	최대 풍압	405 [Pa]
방열판	가로×세로×높이	280×500×83 [mm]

3.2 열 분포해석을 통한 방열 성능검증

그림 5는 표 2의 방열판 및 냉각팬에 기존 3상 인버터와 3상 T형 3 레벨 인버터 손실을 각각 적용하여 전산유체해석 소프트웨어를 이용하여 분석한 방열판 온도 분포 그래프이다. 3상 T형 3 레벨 인버터에서 최대 온도가 100[°C]이하로 유지되고 있으며 기존 3상 인버터 적용시 보다 약 20[°C] 낮은 온도 분포를 하고 있음을 확인할 수 있다.

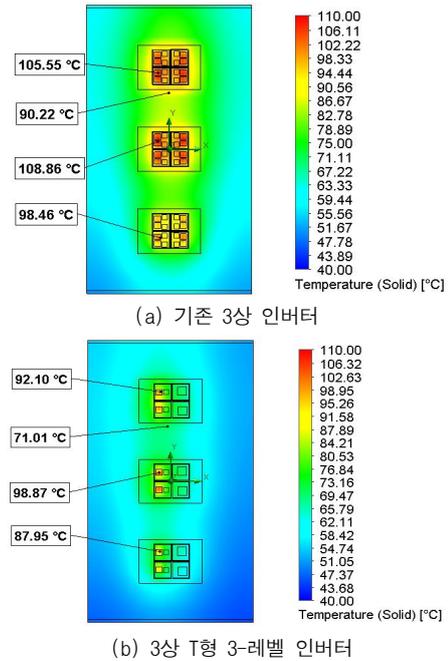


그림 5 전력변환모듈 방열판 열 분포

Fig. 5 Thermal distribution of heatsink in power conversion module

3. 결론

3상 T형 3 레벨 인버터용 전력변환모듈 최적 설계를 위해서 기존 3상 인버터와 3상 T형 3 레벨 인버터 전력반도체 손실을 비교, 분석하였고 이를 기초자료로 50[kVA]급 전력변환모듈을 설계하였다. 그 설계 결과를 사전에 검증하기 위해서 전산유체해석 소프트웨어를 이용하여 전력변환모듈 내부 방열판 온도분포를 해석하였고 그 결과, 설계 요구조건을 만족함을 확인하였다. 향후 설계된 전력변환모듈 시제품을 제작하여 손실 및 방열판 온도 분포 특성을 측정하여 비교, 검증할 예정이다.

이 논문은 산업통상자원부의 제원으로 한국에너지기술연구원(20142010102600) 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Ali Emadi, Abdolhosein Nasiri and Stoyan B. Bekiarov, *Uninterruptible Power Supplies and Active Filters*: CRC Press, 2005, p.134 136
- [2] 이동주, 백석민, 황동욱, 장동욱. "3상 하이브리드 UPS 운전 효율 향상을 위한 멀티레벨 인버터 설계 및 시뮬레이션", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1001 1002, 2014. 7