

자동전압조정기의 최적 방열판 설계 및 검증

최제왕, 이동주, 최준영, 황동옥, 백석민
국제통신공업(주)

Optimal Heatsink Design and Verification of Automatic Voltage Regulator

Jae Wang Choi, Dong Ju Lee, Jun Young Choi, Dong Oak Hwang, Seok Min Paik
KUKJE ELECTRIC Co.,Ltd

ABSTRACT

본 논문에서는 단상 5kVA의 용량을 갖는 3 레그 방식의 고효율 자동전압조정기에 최적화된 방열설계가 제안된다.

3 레그 자동전압조정기의 경우 스위칭 알고리즘에 따라 스위칭 횟수가 줄어들어 효율이 좋은 장점이 있다. 스위칭 소자로 IGBT를 사용하여 열 분배가 중요함으로 전력변환 장치의 신뢰성과 안전성을 높일 수 있도록 최적화된 방열설계안을 제시하고 설계의 타당성을 위해 시뮬레이션을 통한 검증을 수행하였다.

1. 서 론

3 레그 방식의 고효율 자동전압조정기는 기존 이중변환 방식의 자동전압조정기에 비하여 IGBT의 스위칭 손실이 적기 때문에 상대적으로 효율이 높다^{[1][2]}. 하지만 입력전압의 허용범위가 넓어(정격전압의 50%~+50%) IGBT 손실을 충분히 고려한 방열설계가 필요하다.

본 논문에서는 단상 5kVA 3 레그 자동전압조정기의 구성에 필요한 주 전력변환장치의 IGBT 손실을 계산하고, 이를 바탕으로 방열설계를 하여 정확한 설계가 되었는지 시뮬레이션으로 확인한다.

2. IGBT 손실분석

2.1 3-레그 자동전압조정기의 동작특성

제안된 방열설계의 대상이 된 자동전압조정기 회로는 그림 1과 같다. 회로는 사이리스터(Thyristor)로 이루어진 바이패스 스위치(SCR1)와 교류초파 스위치 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 으로 구성되어 있다. 인덕터 L_o , 커패시터 C_o 로 이루어진 LC 필터는 출력의 고조파 성분을 필터링한다. 출력전압(v_o)은 게이트 신호의 시비율(duty ratio)로 제어되며, 전원 입력전압(v_i)에 변동이 생길 때 교류초파의 시비율을 변화시켜 순간적인 외란에도 출력전압(v_o)은 항상 일정한 전압이 되도록 제어된다.

시뮬레이션 될 3 레그 자동전압조정기의 사양은 표 1과 같고 그림 2는 입력전압(v_i) 가변에 따른 단상 5kVA 3 레그 자동전압조정기의 시뮬레이션 파형이다. 시뮬레이션 시작 후 3초부터 입력전압(v_i)에 50%의 갑작스런 전압 감소가 발생되고, 3.5초에 100%입력전압(v_i)으로 복귀된다. 4초부터 입력전압(v_i)

에 50%의 갑작스런 전압 증가가 발생되고, 4.5초에 100%입력 전압(v_i)으로 복귀된다. 두 조건(입력전압 증가, 감소) 모두 220V로 출력전압(v_o)이 일정함을 확인 할 수 있다.

표 1 3-레그 자동전압조정기 사양

Table 1 3-leg automatic voltage regulator specification

Parameter	Value
정격 입력 전압	220 [V]
입력 허용 전압	정격 입력 전압의 50~+50 [%]
정격 출력 전압	220 [V]
정격 용량	5 [kVA]
정격 전류	22.7 [A]
스위칭 주파수	15 [kHz]
IGBT	600V/100A (LUH100G602)
입력리액터(L_i)	600 [μ H]
출력리액터(L_o)	600 [μ H]
DC콘덴서(C_d)	3400 [μ F]
출력콘덴서(C_o)	15 [μ F]

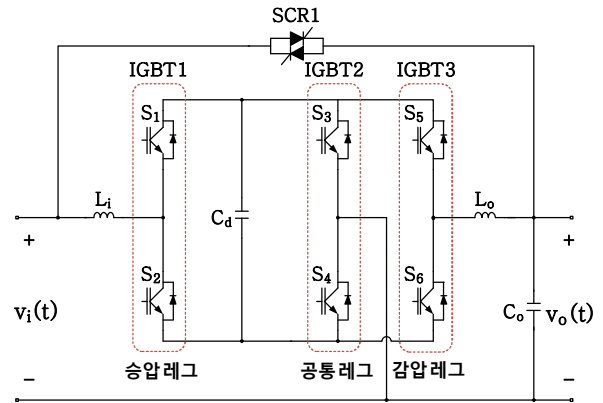


그림 1 3-레그 자동전압조정기 회로

Fig. 1 3-leg automatic voltage regulator circuit

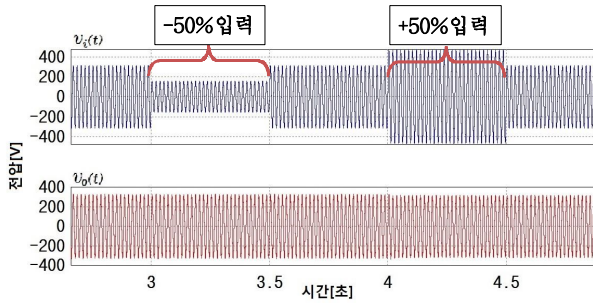


그림 2 시뮬레이션 파형
Fig. 2 Simulation curve

2.2 IGBT 손실 시뮬레이션

그림 3은 IGBT 손실을 시뮬레이션하기 위한 회로이고 그림 4는 이를 통하여 구한 IGBT 손실이다. 이 그림에서 승압레그는 상대적으로 감압레그와 공통레그 보다 많은 손실이 발생됨을 보여준다. 3 레그 자동전압조정기의 운용 중 가장 많은 손실이 발생된 동작환경은 입력전압을 50% 감소시켰을 때 이며, 그 손실은 그림 5와 같다. 입력전압을 50% 감소시킨 상태에서 100% 부하를 걸었을 때, 승압레그 손실(P_1)은 300W로 가장 크고 감압레그 손실(P_2)은 41W, 공통레그 손실(P_3)은 125W이다.

그림 6은 입력전압을 50%(110V), 정격(220V), +50%(300V)로 하였을 때, 부하에 따른 IGBT의 총 손실 그래프이다. 100% 부하를 걸고 50% 입력전압에서 IGBT 총 손실 값은 466W, 정격입력전압에서 IGBT 총 손실 값은 256W, +50% 입력전압에서 IGBT 총 손실 값은 218W이다. 입력전압이 50%로 낮았을 때 IGBT 총 손실이 가장 큰 것을 볼 수 있다.

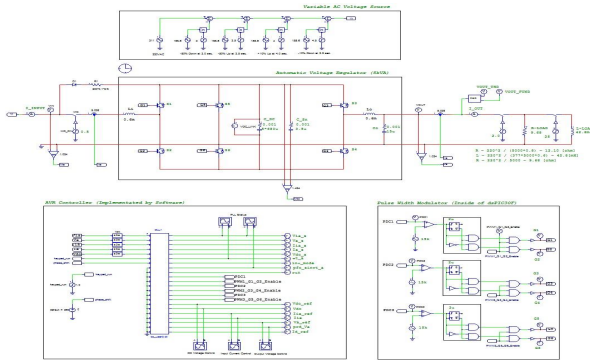


그림 3 시뮬레이션 회로
Fig. 3 Circuit simulation

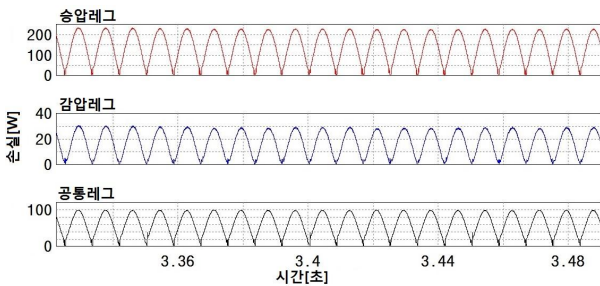


그림 4 각 레그의 IGBT 손실
Fig. 4 IGBT losses in each leg

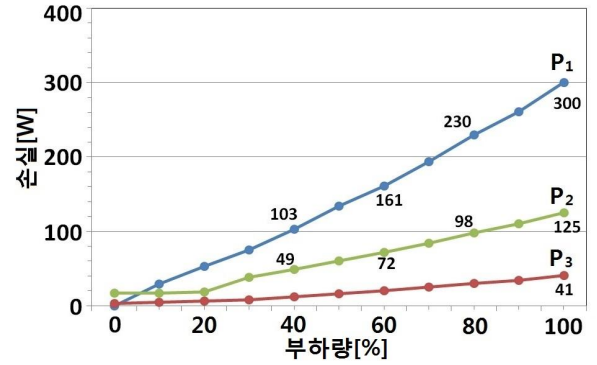


그림 5 입력전압 110V에서 부하에 따른 IGBT 손실
Fig. 5 At 110V input voltage, IGBT losses due to load

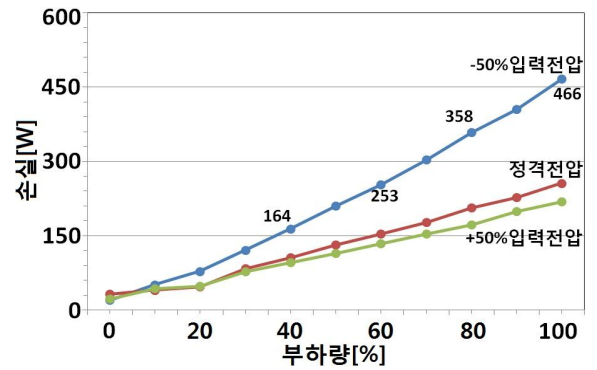


그림 6 부하에 따른 총 IGBT 손실
Fig. 6 Total IGBT losses due to load

3. 최적 방열설계 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경

그림 7은 사용될 냉각팬의 풍압에 따른 풍량 곡선이다. 장비 외관을 설계하고 외관 크기에 최적화된 방열판을 선정 후 탑재될 IGBT의 허용온도를 고려하여 최고 방열량에서 허용온도 이내로 운전할 수 있는 냉각팬을 선정하였다.

표 2와 같이 선정된 방열판은 가로 167mm, 세로 250mm, 높이 53mm 이며 팬은 115 CFM 2개를 사용하였고, IGBT의 배치는 방열이 심한 승압레그를 팬과 가장 가까운 곳에 위치시켰다.

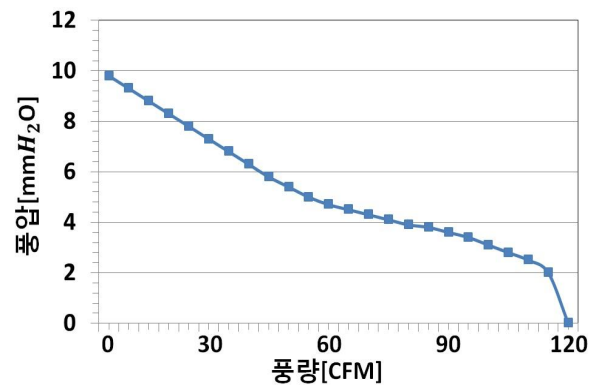


그림 7 팬의 풍량 / 풍압 곡선
Fig. 7 Fans of the air flow and wind curve

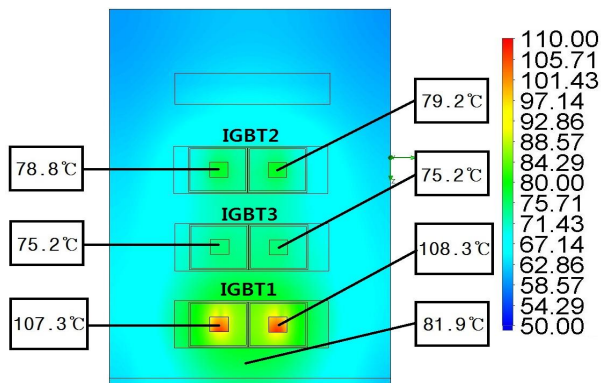
표 2 방열설계 파라미터
Table 2 Thermal design parameter

Parameter	Value
방열판 크기	167×250×53 [mm ³]
방열판 재질	알루미늄(6063 T5)
팬 풍량	115×2 [CFM]
상온 설정	40℃

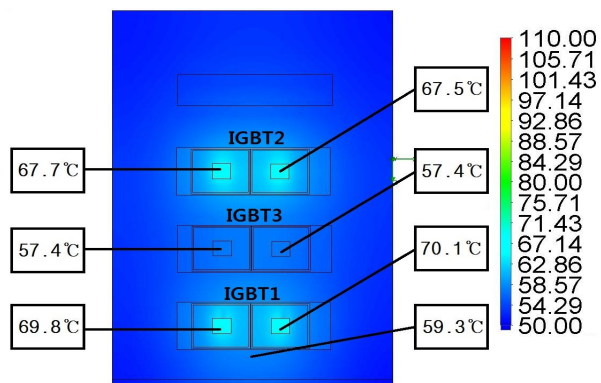
3.1 시뮬레이션 결과

제안된 방열설계의 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다. 그림 8의 (a)는 입력전압 110V(50%)의 조건이며 가장 큰 IGBT 손실이 발생된 경우로 IGBT 온도가 가장 높음을 보여준다. 그림 8의 (b)는 입력전압 220V의 조건으로 IGBT 손실이 발생된 경우, (c)는 입력전압 330V (+50%)의 조건으로 IGBT 손실이 발생된 경우의 시뮬레이션이다. 사용될 IGBT의 허용온도(125℃) 이하의 사용조건에 맞게 가장 발열이 심한 (a)의 경우, 최고온도 108℃가 되도록 설계하였다.

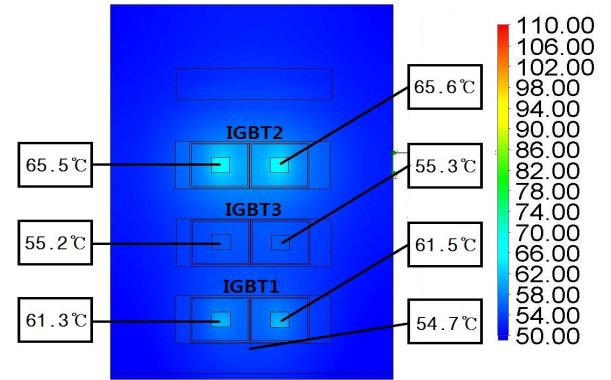
그림 9는 설계된 장비 내부의 열 순환 분포이다. 팬은 외부 공기를 빨아들여 바로 방열판을 통과한 후 장비 뒷부분의 리액터를 거쳐 외부로 빠져 나가도록 설계 되었다. 외부로 빠져 나가지 못하고 내부 순환되는 고온의 공기는 순환 과정에서 다시 외부로 배출되어 장비 내부의 방열이 이루어지는 것을 확인 할 수 있다.



(a) -50% 입력 전압



(b) 정격 입력 전압



(c) +50% 입력 전압

그림 8 부하 100% 일 때, 입력전압에 따른 방열판의 열 분포
Fig. 8 At load 100%, Thermal distribution of the heatsink due to input voltage

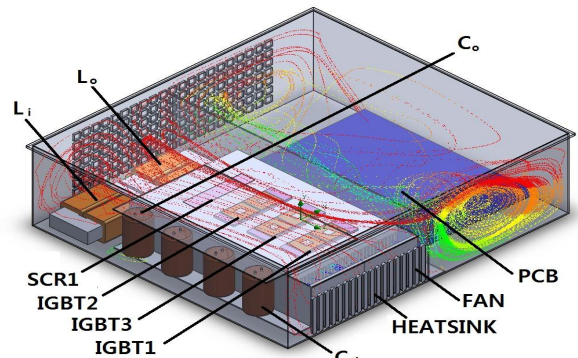


그림 9 장비내부 열 순환 분포
Fig. 9 Equipment internal heat circulation

4. 결론

본 논문에서는 단상 5kVA 3 레그 자동전압조정기의 IGBT 손실을 통한 최적 방열설계가 제안되었다. 제안된 방열설계가 3 레그 자동전압조정기의 운용상에 발생하는 발열을 충분히 해소시켜주는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

이 논문은 중소기업 기술개발사업으로 중소기업청의 지원을 받아 수행한 연구과제(과제번호: S2161199)임.

참고 문헌

- [1] T. W. Kim, J. H. Choi, and B. H. Kwon, "High performance line conditioner with output voltage regulation and power factor correction," *IEE Proc. Electric Power Appl.*, vol. 151, no. 1, pp. 91-97, Jan. 2004.
- [2] J. H. Choi, J. M. Kwon, J. H. Jung, and B. H. Kwon, "High performance online UPS using three leg type converter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 3, pp. 889-897, Jun. 2005.