

부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 고장 분석

허 대 호, 곽 윤 기, 강 필 순
국립한밭대학교

Failure Analysis of Boost Converter and Buck-boost Converter

Dae-ho Heo, Yun-gi Kwak, Feel-soon Kang
Hanbat National University

ABSTRACT

본 논문에서는 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 동작 특성을 고려하여 Fault Tree Analysis(FTA)를 작성하고 같은 용량으로 설계하여 동작 온도에 따른 고장률의 차이를 비교 및 분석한다. 승압용 컨버터로 사용되는 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 파라미터 설정에 따른 인덕터의 고장률과 커패시터의 고장률을 계산한다. 또한 두 컨버터의 설계 파라미터에 의해 달라지는 커패시터 고장률과 정격전압 차이에 의해 달라지는 다이오드의 고장률을 구한다. 각 소자의 부품 고장률은 MIL-HDBK-217F를 이용하여 구한다. 작성한 FTA에 부품 고장률을 적용하여 고장률과 평균고장시간을 예측한다.

1. 서론

승압용 컨버터로 사용되는 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터는 소자의 종류와 개수가 동일하다. 하지만 같은 출력 조건으로 설계하더라도 스위치 도통비에 따라 인덕턴스와 커패시턴스의 크기가 달라진다. 또한 부스트 컨버터의 다이오드보다 벡-부스트 컨버터의 다이오드는 더 큰 전압 스트레스로 인해 큰 용량의 다이오드를 사용해야한다.

본 논문에서는 같은 설계조건에서 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 커패시터 크기에 따라 설계되는 고장률을 비교한다. 다음으로 벡-부스트 컨버터의 전압 정격과 같은 다이오드를 부스트 컨버터에 사용했을 때 온도 변화에 따른 두 컨버터의 고장률의 차이를 분석하고 평균고장시간을 예측한다.

2. 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 고장률

2.1 부스트 컨버터의 설계 파라미터 설정

표 1 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 설계사양
Table 1 Design specification for boost converter and buck-boost converter

Parameter	Value
Input voltage	96 [V]
Output voltage	240 [V]
Output current	12.5 [A]
Output power	3 [kW]
Switching frequency	20 [kHz]
Voltage ripple	5 [%]
Current ripple	5 [%]

표(1)를 만족하기 위해 MOSFET를 사용하며 다이오드는 Fast Recovery Diode를 사용한다. 설계 목표를 만족하는 커패시턴스와 인덕턴스는 식 (1)과 식(2)를 통해 전류 연속 모드 조건에서 구해진다.

$$L = \frac{V_{in}}{\Delta i_L}DT \tag{1}$$

$$C = \frac{I_o}{\Delta v_o}DT \tag{2}$$

1.2 승압용 컨버터의 고장나무 설계

부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 입력과 출력 동작 특성, 스위치 온 오프 동작 시 소자의 기능이 같게 되므로 고장나무의 형태는 같게 표현된다.

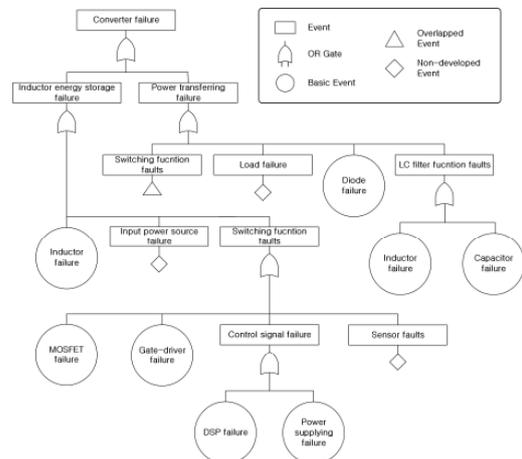


그림 1 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 고장나무
Fig. 1 Fault tree of boost converter and buck-boost converter

1.3 커패시터와 다이오드의 고장률

부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 고장률을 구하기 위해 MIL-HDBK-217F를 이용한다. 두 컨버터의 도통비에 따라 달라지는 커패시터의 고장률은 식(1)에 의해 구해진다. 그리고 다이오드의 고장률은 식(2)에 의해서 구해진다.

$$\lambda_b = \lambda_{\pi_b} \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \text{Failures}/10^6h \tag{1}$$

전해 커패시터의 기본 고장률 λ_b , π_T 는 온도 인자로 동작 온도에 따라 고장률이 변하게 된다. π_C 는 커패시턴스 인자, π_V 는 전압 스트레스 인자, π_{SR} 은 직렬저항인자, π_Q 는 품질인자, π_E 는 환경인자이다.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \text{Failures}/10^6 h \quad (2)$$

λ_b 는 다이오드의 기본 고장률로 다이오드의 종류에 따라 고장률이 변하게 된다. π_T 는 온도인자, π_S 는 전기적 스트레스 인자, π_C 결합인자, π_Q 품질인자, π_E 는 환경인자이다.

그림 2는 식(2)에 의해서 계산된 벡-부스트 컨버터의 커패시터의 온도 변화에 따른 고장률을 보여준다. 그림 3은 두 컨버터에 적용되는 다이오드의 온도 변화에 따른 고장률이다. 벡-부스트 컨버터에서 사용되는 다이오드의 정격전압과 같은 다이오드를 사용한 부스트 컨버터의 고장률이다. 동작온도 180 [°C]에서 벡-부스트 컨버터의 다이오드는 8.07년의 수명을 보이며 부스트 컨버터의 다이오드는 21.9년의 수명을 확인 할 수 있다.

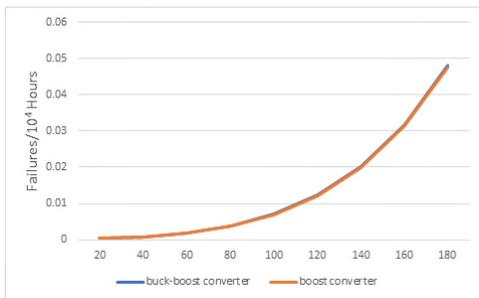


그림 2 온도 변화에 따른 벡-부스트 컨버터와 부스트 컨버터 커패시터 고장률
Fig. 2 Buck-boost converter and boost converter capacitor failure rate with temperature change

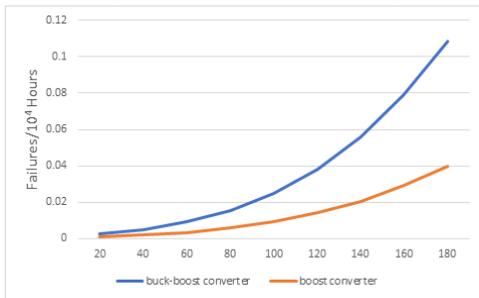


그림 3 온도 변화에 따른 벡-부스트 컨버터와 부스트 컨버터 다이오드 고장률
Fig. 3 Buck-boost converter and boost converter diode failure rate with temperature change

1.4 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 고장률

그림 4는 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 부품 고장률을 고장나무에 적용한 각 온도 별 고장률이다. 벡-부스트 컨버터의 정격 용량과 같은 다이오드를 부스트 컨버터에 적용하여 평균고장시간을 계산한 결과 모든 온도 조건에서 부스트 컨버터의 수명이 벡-부스트 컨버터보다 길다는 것을 확인했다.

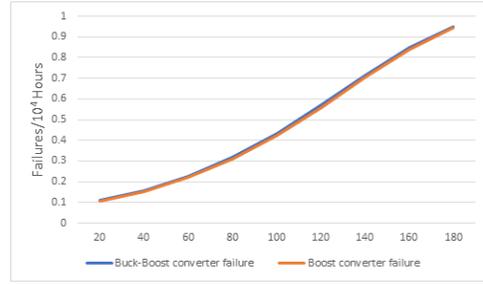


그림 4 온도 변화에 따른 컨버터의 고장률
Fig. 4 Failure rate of converter according to temperature change

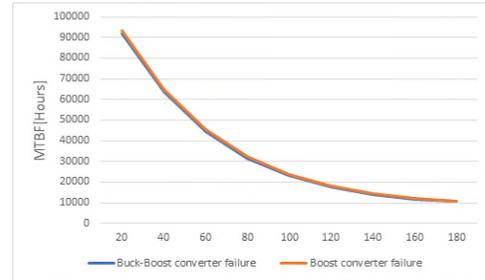


그림 5 온도 변화에 따른 컨버터의 평균고장시간
Fig. 5 MTBF of converter according to temperature change

표 2 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터의 평균고장시간
Table 2 MTBF for boost converter and buck-boost converter

Temperature	Boost	Buck-boost	Difference of MTBF
20	93092	91828	1263
40	64800	63665	1135
60	45305	44380	924
80	32223	31521	701
100	23562	23059	503
120	17881	17540	341
140	14203	13989	214
160	11900	11784	116
180	10587	10542	44

3 결론

본 논문에서는 부스트 컨버터와 벡-부스트 컨버터를 3[kW] 급 용량으로 설계하고 온도 변화에 따른 고장률과 평균고장시간을 확인하였다. 두 컨버터의 기능을 고려한 FTA를 작성하고 주요 부품의 고장률을 MIL-HDBK-217F를 이용하여 구하고 작성한 FTA에 적용했다. 그 결과 부스트 컨버터의 평균고장시간은 동작온도 100 [°C] 조건에서 23562 [Hours], 벡-부스트 컨버터의 평균고장시간은 23059 [Hours]로 503시간 정도의 차이를 확인하였다. 두 컨버터의 도통비 차이로 인해 커패시턴스의 차이가 발생하였지만 벡-부스트 컨버터의 정격에 맞는 다이오드를 부스트 컨버터에 사용했을 때 부스트 컨버터의 수명이 벡-부스트 컨버터보다 수명이 긴 것을 확인 하였다.

참 고 문 헌

[1] Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1991.