

# 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 고장률 비교

곽윤기, 허대호, 강필순  
한밭대학교

## Failure-rate Comparison of Buck Converter and Buck-Boost Converter

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

### ABSTRACT

본 논문에서는 동일한 설계조건을 갖는 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터를 신뢰성의 측면에서 비교한다. 신뢰성 분석의 대표적인 지표인 고장률과 평균 고장 시간(Mean time between failure, MTBF)을 도출하기 위해 고장나무 분석(Fault-tree analysis, FTA)을 사용한다. FTA는 컨버터의 동작 특성을 고려하여 고장의 원인과 영향을 나타내는 방법으로 컨버터를 구성하는 부품의 고장률은 MIL-HDBK-217F의 값을 사용한다. FTA를 통해 벅 컨버터의 고장률과 벅-부스트 컨버터의 고장률을 도출하고 고장률 차이의 원인을 분석하며 두 컨버터의 동작 온도별 고장률을 그래프로 나타내어 시각화한다.

### 1. 서론

벅 컨버터와 마찬가지로 벅-부스트 컨버터 또한 강압형 컨버터로 사용이 가능하다. 두 컨버터의 부품 구성 및 주된 기능은 동일하다. 그러나 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터는 다이오드에 인가되는 전압이 다르며, 동일한 출력전압을 얻기 위한 커패시터 용량 또한 다르다. 이러한 차이는 부품의 고장률에 영향을 준다. 본 논문에서는 파라메타의 차이에 따른 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터를 비교 분석하여 컨버터의 동작 온도별 고장률과 MTBF(Mean time between failure)를 도출한다.

### 2. 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 구동 특성을 고려한 신뢰성 비교

FTA는 시스템의 고장을 발생시키는 원인의 관계를 논리적으로 사용하여 고장나무(Fault-tree, FT)를 만들고 시스템의 고장확률을 구하는 방법으로 분석하고자 하는 대상의 고장률을 도출할 수 있다. 그림 1은 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 동작 특성을 분석하여 그린 고장나무이다. 컨버터의 고장률을 계산하기 위해 고장나무의 기본사상인 컨버터를 구성하는 부품의 고장률이 필요하며, 이는 MIL-HDBK-217F의 값을 인용한다. 고장률은 단위 시간당 개별 부품의 고장횟수이며 MTBF는 평균 고장 시간으로 컨버터의 동작할 수 있는 수명을 의미한다. 표 1은 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 설계 변수를 나타내며 출력 커패시턴스 값은 전압 리플을 5[%]로 설정하여 계산한 값이다.

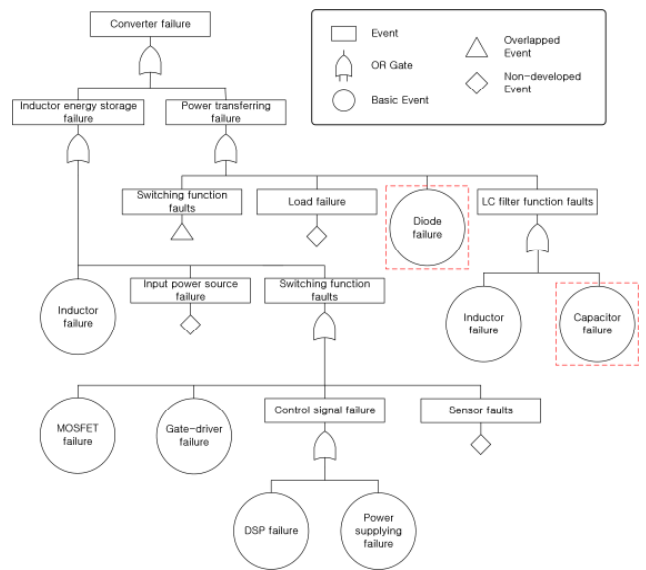


그림 1 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 고장나무  
Fig. 1 Fault-tree of buck converter and buck-boost converter

표 1 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 설계 변수  
Table 1 Parameters for buck and buck-boost converter

Converter type	Parameter	Value	Unit
Both converter	Input voltage	120	V
Both converter	Output voltage	48	V
Both converter	Switching frequency	20	kHz
Both converter	Output voltage ripple	5	%
Both converter	Output current ripple	5	%
Buck	Output capacitance	781.3	nF
Buck-boost		35.7	μF
Buck	Applied voltage on diode	120	V
Buck-boost		168	

### 2.1 다이오드와 커패시터의 고장률 분석

표 1과 같은 설계조건을 가질 때 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 고장률 차이는 다이오드와 커패시터 고장률의 영향을 받는다.

벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터는 FRD(Fast recovery diode) 다이오드를 사용한다. 다이오드 고장률은 식 (1)과 같다.

$$\lambda_D = \lambda_b \pi_T \pi_s \pi_C \pi_Q \pi_E \tag{1}$$

FRD의 기본 고장률인  $\lambda_b$ 는 0.025을 사용하고,  $\pi_c$ 는 야금결합을 의미하는 1을 사용한다.  $\pi_Q$ 는 기성품 기준으로 5.5를 사용하고,  $\pi_E$ 는 부품 동작 환경에 따른 값으로  $G_F$ 값인 6을 사용한다.  $\pi_T$ 는 온도별 다이오드의 고장률이며,  $\pi_S$ 의 식은 식 (2)와 같다. 여기서 전압은 다이오드의 역전압을 의미한다.

$$\pi_S = \left( \frac{V_{applied}}{V_{rated}} \right)^{2.43} \quad (2)$$

다이오드의 정격전압이 벅-부스트 컨버터의 다이오드 역전압을 기준으로 1.5배인 제품을 사용할 경우  $\pi_S$ 는 0.3733이며, 벅 컨버터에 동일한 제품을 사용할 경우 인가되는 전압과 정격전압의 비가 달라지므로  $\pi_S$ 는 0.1648이다.

커패시터는 알루미늄 전해 커패시터를 사용한다. 커패시터의 고장률은 식 (3)와 같다.

$$\lambda_C = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \quad (3)$$

$\lambda_b$ 는 커패시터의 기본 고장률로 0.00012를 사용하고,  $\pi_{SR}$ 은 Tantalum CSR 커패시터만 적용하는 값이므로 전해 커패시터의 경우 1을 사용한다.  $\pi_Q$ 는 기성품 기준으로 10을 사용하며,  $\pi_E$ 는 부품 동작 환경에 따른 값으로  $G_F$ 값인 10을 사용한다.  $\pi_T$ 는 온도별 다이오드의 고장률이며,  $\pi_C$ 의 식은 식 (4)와 같다. 여기서 C는 커패시터의 커패시턴스 값이다.

$$\pi_C = (C)^{2.43} \quad (4)$$

표 1에 나타낸 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 출력 커패시턴스를 사용 시 벅 컨버터의  $\pi_C$ 는  $(781.3\mu)^{2.43}$ 이며, 벅-부스트 컨버터의  $\pi_C$ 는  $(35.7\mu)^{2.43}$ 이다.

## 2.2 고장나무 기반 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 고장률 및 평균 고장 시간

2.1에서 계산한 값을 이용하여 다이오드와 커패시터의 고장률을 계산한다. 50°C 기준 벅 컨버터 다이오드의 고장률은 0.0030[Failures/10<sup>4</sup>h]이며 벅-부스트 컨버터 다이오드의 고장률은 0.0069[Failures/10<sup>4</sup>h]이다. 동일 기준 벅 컨버터 커패시터의 고장률은 0.0037 [Failures/10<sup>4</sup>h]이며, 벅-부스트 컨버터 커패시터의 고장률은 0.0088[Failures/10<sup>4</sup>h]이다.

다이오드와 커패시터 이외의 다른 부품의 고장률은 동일한 기준을 적용하여 계산하였다. MIL-HDBK-217F에 명시된 부품의 고장 이외의 다른 고장 가능성은 최상위 고장인 컨버터의 고장에 미치는 영향이 미비하므로 컨버터 부품 고장률 중 가장 낮은 값인 인덕터 고장률의 1[%]로 반영하여 최소화시킨다. FTA 분석 결과 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 온도 별 고장률과 MTBF는 그림 2와 그림 3으로 표현한다. 50°C 기준 벅 컨버터의 고장률은 0.1863[Failures/10<sup>4</sup>h], MTBF는 4.702년이며, 벅-부스트 컨버터의 고장률은 0.1936 [Failures/10<sup>4</sup>h], MTBF는 4.524년이다. 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터는 0.178년의 수명 차이를 보인다.

## 3. 결론

본 논문에서는 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터를 동일한 기준으로 설계하여 두 컨버터의 고장률과 MTBF를 비교 분석하였다. 벅-부스트 컨버터는 벅 컨버터에 비해 다이오드에 인가되는 역전압이 크며, 동일한 출력전압 리플을 갖기 위해 벅 컨버터보다 큰 용량의 출력 커패시터를 사용해야 한다는 점이 신뢰성 측면에서 불리하게 작용 됨을 확인하였다.

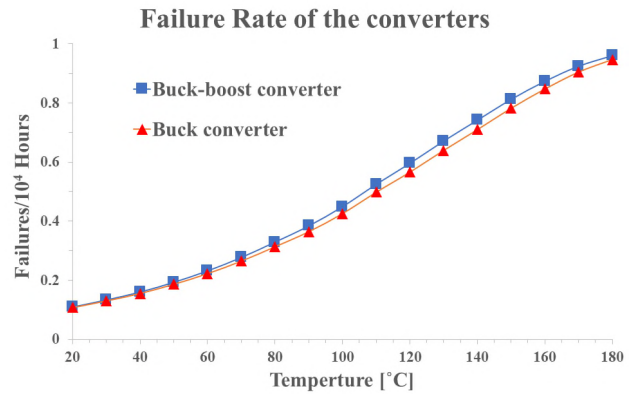


그림 2 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 고장률  
Fig. 2 Failure-rate of buck converter and buck-boost converter

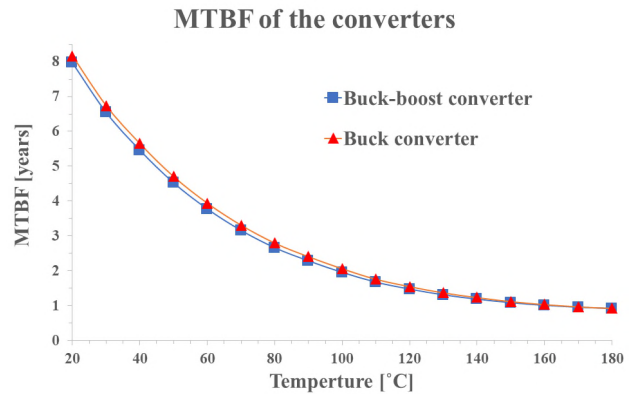


그림 3 벅 컨버터와 벅-부스트 컨버터의 평균 고장 시간  
Fig. 3 MTBF of buck converter and buck-boost converter

## 참고 문헌

- [1] Y. Song and B. Wang, "Survey on Reliability of Power Electronic Systems," IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 28, NO. 1, JANUARY 2013
- [2] F. S. Kang and S. G. Song, "Fault-tree Analysis based Life-cycle Expectation for Half-bridge Submodule in HVDC," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 69, no. 1, pp. 42~49, 2020
- [3] M. Rausand and A. Høyland, System Reliability Theory. Hoboken, NJ: Wiley, 2004.
- [4] Reliability Prediction of Electronic Equipment, Military Handbook, 1991(MIL-HDBK-217F)