

# DC-DC 부스트 컨버터 고장 진단 알고리즘

조현기, 곽상신

## Fault Diagnosis of DC-DC Boost Converter

Hyun-ki Cho, Sang-shin Kwak

Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Chung-ang University

### Abstract

최근, 높은 신뢰성을 갖는 전원공급 시스템의 중요성이 부각되면서 컨버터 내 고장을 빠르게 진단할 수 있는 기능이 필요하게 되었다. 본 논문은 DC-DC 부스트 컨버터 스위치의 개방형 고장 및 단락형 고장 발생 시, 인덕터의 전압을 통해 고장 여부를 검출하는 동시에 고장 종류를 진단할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

### 1. 서론

전원 공급 시스템에서 컨버터의 스위칭 주파수가 빠를수록 스위치의 열화가 쉽게 발생하며 이로 인해 컨버터 스위치에서 개방 및 단락형 고장이 발생할 수 있다. 대다수의 DC-DC 컨버터는 출력전압의 리플을 줄이기 위해 수백 kHz 이상의 스위칭 주파수에서 동작하게 되므로 해당 시스템의 높은 신뢰성을 확보하기 위해 컨버터의 고장을 진단할 수 있고, 그 고장의 종류를 판별할 수 있는 알고리즘이 반드시 필요하다.

정상적인 동작에서 부스트 컨버터의 인덕터의 전압은 각 주기마다 스위치가 On이 되면 양의 값을 가지고, 스위치가 Off되는 시간에는 음의 값을 갖게 된다. 그러나 스위치에 고장 발생 시, 스위치의 On, Off 제어 불가능해지면서 인덕터 전압은 고장 종류에 따라 양의 값 또는 음의 값으로 고정되어 나타나게 된다. 이를 통해 스위치의 고장 여부 및 고장의 종류를 정확하게 찾아 낼 수 있다. 이에 대하여 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 증명하였다.

### 2. 스위칭 고장 진단

#### 2.1 부스트 컨버터의 스위칭 고장 현상

그림 1의 부스트 컨버터가 정상적으로 동작할 때, 스위치의 동작에 따라 인덕터 전압은 변화한다. 그림 2의 (b)에서 확인할 수 있듯이 스위치의 On 시퀀스의 경우에 인덕터 전압은 입력전압  $V_s$ 와 같은 값을 되고, 위치의 Off 시퀀스에서 입력전압  $V_s$ 와 출력전압  $V_o$ 의 차이 ( $V_s - V_o$ ) < 0의 값을 갖는다.

그러나 컨버터 스위치에 개방형 고장이 발생하게 되면 컨버터가 Off 시퀀스의 동작만을 하게 되며, 인덕터의 전류는  $(V_s - V_o)/L$ 의 기울기로 0으로 떨어지게 된다. 즉, 그림 2의 (c)에서 볼 수 있듯이 고장 발생 시에 인덕터 전압은  $(V_s - V_o)$ 의 값으로 고정되다가 인덕터 전류가 0이 되는 시점에 그 전압 또한 0이 되게 된다.

또한 컨버터 스위치에 단락형 고장이 발생하게 되면 컨버터가 On 시퀀스의 동작만을 하게 되며, 인덕터의

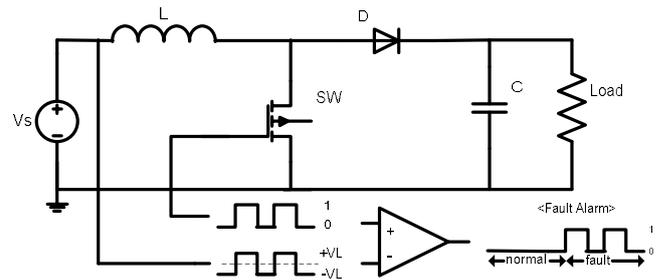


그림. 1 DC-DC 부스트 컨버터  
Fig. 1 DC-DC Boost Converter

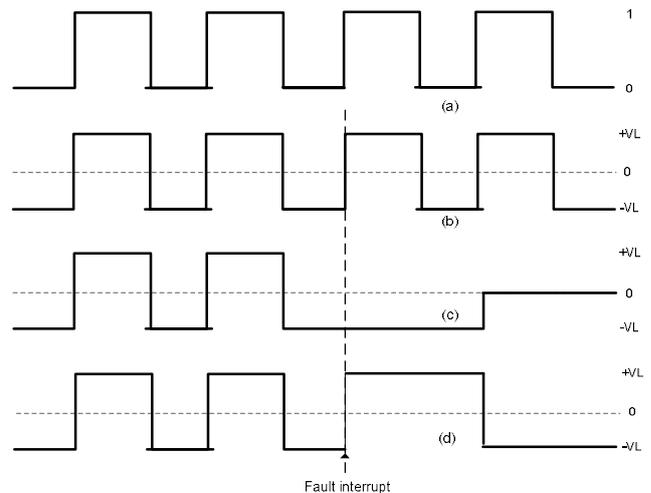


그림. 2 DC-DC 부스트 컨버터의 인덕터 전압 (a) 스위칭 신호 (b) 정상 (c) 개방형 스위칭 고장 (d) 단락형 스위칭고장  
Fig. 2 Inductor Voltages of DC-DC Boost Converter  
(a) Switching Signal (b) Normal (c) Switching Open Fault (d) Switching Short Fault

전류는  $V_s/L$ 의 기울기로 계속 증가하게 된다. 이에 따라 인덕터의 전압은 입력전압  $V_s$ 값으로 고정되다가 스위치가 과전류로 인해 파손되게 되며, 이후 개방형 고장과 같은 현상을 보인다.

#### 2.2 제안된 부스트 컨버터의 스위치 고장 진단 알고리즘

인덕터 전압은 부스트 컨버터에 스위칭 고장이 발생한 순간 2.1 에서 언급한 현상을 보이게 되며, 이를 정상적인 스위칭 신호와 비교하여 관찰하게 되면 적어도 고장이 발생한 다음 주기 이내에 고장 여부와 함께 정확하게 어느 고장이 발생했는지를 진단할 수 있게 된다. 이때 개방형, 단락형의 고장을 진단하기 위한 알고리즘 회로는 각각 하

나씩 총 두 개로 구성되며, 구성된 회로는 정상상태에서는 그 출력이 0이고, 고장 발생 시 그 출력이 1의 값으로 고장에 대한 경보를 발생하도록 구성된다. 또한 각각 구성된 회로는 지정된 고장 외의 다른 고장에는 반응하지 않아야 한다.

그림 3은 제안한 알고리즘 회로으로 해당 논리 게이트의 입력범위에 맞게 조절된 측정 인덕터 전압을, 역상의 스위칭 신호와 함께 비교하여 고장 경보를 발생시킨다. 경보 신호는 스위칭 신호와 측정된 인덕터 전압 사이에 발생하는 미세한 지연으로도 발생할 수 있으므로, 이를 필터링하여 지정된 지연 값 이상에만 경보를 발생하도록 구성되었다.

Proposed Fault Diagnosis Algorithm (Open Circuit Occurred)

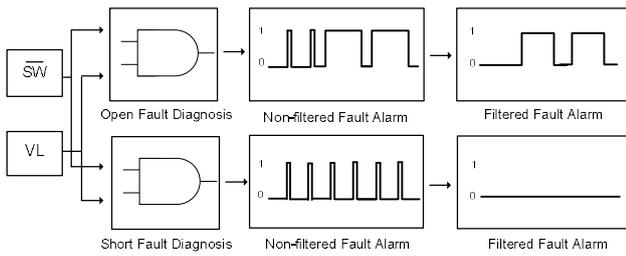


그림. 3 제안한 스위칭 고장 진단 알고리즘: 개방형 고장 발생시  
Fig. 3 Proposed Switching Fault Diagnosis Algorithm; In case of Switching Open fault

또한 일반적인 이중 루프를 갖는 전류 제어가 달린 경우, 개방형 고장 발생 시 입력단 전류의 지령값과 측정된 입력단 전류 사이의 에러가 커지게 되고, 이는 PWM 생성기의 듀티값이 되므로 출력되는 스위칭 신호의 듀티가 커지게 된다. 따라서 제안한 알고리즘 내에서 발생하는 고장 경보의 펄스폭이 커지게 되어 고장 진단이 보다 정확해진다. 반대로 단락형 고장의 경우는 입력단 전류의 지령값과 측정된 입력단 전류 사이의 에러가 작아지게 되어 스위칭 신호의 듀티가 작아지게 되고, 이에 따라 단락형 고장의 경우도 고장 경보의 펄스 폭이 커지게 되어 Open Loop의 경우보다 고장 진단이 정확해진다.

### 3. 시뮬레이션

제안한 고장진단 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 입력전압  $V_s$ 는 30V, 스위칭 주파수는 100kHz이며  $L=1mH$ ,  $C=100\mu F$ , Load 저항은 10Ω이다. 그림 4과 그림 5는 Duty ratio  $D=0.5$ 의 Open loop에서 각각 개방형, 단락형 스위치 고장에 대해 시뮬레이션 한 것이다. 이를 통해 고장이 발생한 주기가 끝난 직후에 고장 알람이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6은 Predictive 전류 모드 제어를 사용하여 단락회로 발생시 듀티값의 변화를 확인한 파형이다.

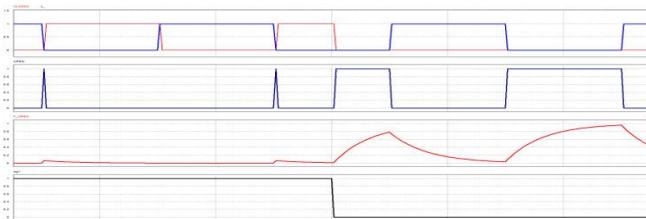


그림. 4 [개방루프] 개방형 스위칭 고장 알람 시뮬레이션  
Fig. 4 [Open loop] Switching Open Fault Alarm Simulation

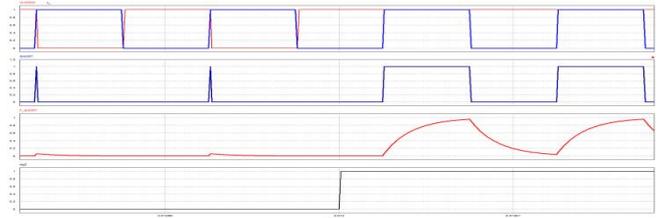


그림. 5 [개방루프] 단락형 스위칭 고장 알람 시뮬레이션  
Fig. 5 [Open loop] Switching Short Fault Alarm Simulation

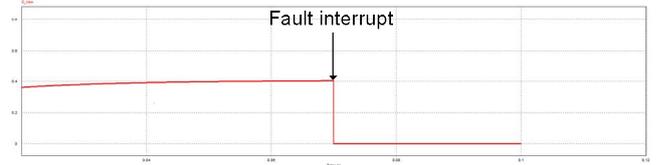


그림. 6 단락형 스위칭 고장 순간의 듀티비 변화  
Fig. 6 Duty Ratio Varying at Switching Short Fault Condition

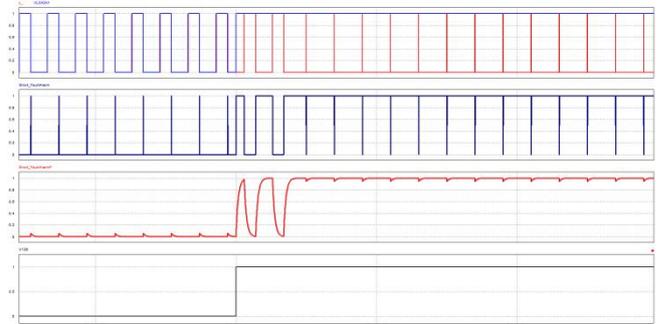


그림. 7 [폐쇄루프] 단락형 스위칭 고장 알람 시뮬레이션  
Fig. 7 [Closed loop] Switching Short Fault Alarm Simulation

### 3. 결론

본 논문은 DC-DC 부스트 컨버터 스위치의 개방형 고장 및 단락형 고장 발생 시, 인덕터의 전압을 통해 고장 여부를 검출하는 동시에 정확하게 어느 고장이 일어났는지를 진단할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

### Acknowledgment

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)와 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국연구재단의 지원 (No. 2011-0013884) 및 한국에너지 기술평가원 (KETEP)의 지원 (20104010100570)을 받아 수행된 연구과제임.

### Reference

- [1] Y. Jang and M. M. Jovanovic, "A new PWM ZVS full-bridge converter," IEEE Trans. Power Electron, vol. 22, no. 3, pp. 987-994, May 2007.
- [2] J. Chen, A. Prodic, R. W. Erickson, and D. Maksimovic, "Predictive digital current programmed control," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no. 1, pp. 411-419, Jan. 2003.
- [3] M.Trabelsi, M.Boussak, P. Mestre, M. Gossa, "An Improved Diagnosis Technique for IGBTs Open-Circuit Fault in PWM-VSI-fed Induction Motor Drive," 2011 IEEE Conference , pp. 2111-2117