

# 직류배전시스템의 보호를 위한 고장전류제한기술

이성민, 김호성  
공주대학교 전기전자제어공학부

## Fault current limiting technology to protect DC distribution systems

Sungmin Lee, Hyosung Kim  
School of EE and Control Engineering, Kongju National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 직류배전의 보호를 위한 고장전류제한기술을 제안한다. 제안된 전류제한기는 PWM스위칭 방식으로 동작하며 차동증폭기, 비교기, MOSFET스위치와 게이트드라이버로 구성되어 있다. 전류제한기는 부하 측의 단락사고나 돌입전류를 제어하기 위한 목적으로 직류리액터  $L_f$ 에 흐르는 전류를 센싱하여 기준전류  $I_{ref}$ 보다 높게 흐르려는 경우 MOSFET은 ON/OFF스위칭 하여 기준전류  $I_{ref}$ 이상으로 흐르지 못하게 함으로써 과전류가 흐르는 것을 방지한다. 제안된 전류제한기의 성능을 실험을 통하여 검증 한다.

### 1. 서 론

화석연료고갈에 따른 에너지 고 효율화 및 신재생에너지 증가에 따른 직류발전연계로 인하여 직류배전방식이 전력계통의 중요 이슈중의 하나로 떠오르고 있다. 직류배전방식은 여러 가지 장점이 있으나, 매 반주기마다 전류가 영이 되는 교류배전 방식과 달리 연속적인 전류가 흐르므로 부하단락 등의 사고 시 고장전류의 차단이 용이하지 않다. 고장전류를 적기에 차단하지 못하는 경우, 과전류 및 과열로 인한 설비의 손상, 인체의 위험뿐만 아니라, 전기화재로 인한 2차적인 손해를 볼 수 있다. 이러한 문제는 직류배전의 보급을 저해하여 온 주요한 요인 중의 하나이기도 하다.<sup>[1]</sup> 본 연구에서는 직류변환기의 출력 단에 설치되어 평활필터 기능을 가지면서 동시에 고장전류를 실시간으로 제한하는 고장 전류제한기의 구조와 제어알고리즘을 제시하고 실험을 통하여 성능을 검증한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 고장전류 제한기의 구조 및 제어원리알고리즘

그림 1에 제안된 직류용 고장전류제한기의 전력회로 구조를 보인다. 필터용 직류리액터  $L_f$ 와 직렬로 MOSFET스위치를 설치하고 직류리액터  $L_f$ 에 흐르는 전류가 기준전류  $I_{ref}$ 보다 상승하면 스위치의 듀티비를 낮추어 전류를 제한한다. 다시 말해 부하전류가 정상적으로  $I_{ref}$ 보다 작게 흐르는 경우 MOSFET 스위치는 항상 ON상태를 유지한다. 그러나 부하 측의 단락사고나 돌입전류 등에 의하여  $I_{ref}$ 보다 과대한 전류가 흐르려고 하는 경우 MOSFET스위치는 설정된 스위칭 주파수 내에서 듀

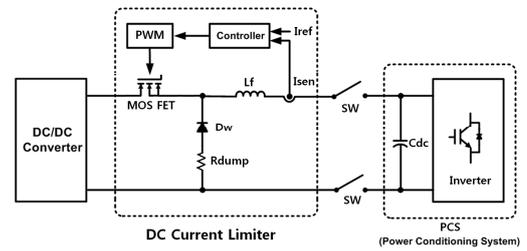


그림 1 고장전류제한기 전력회로  
Fig. 1 Fault current limiting power circuit

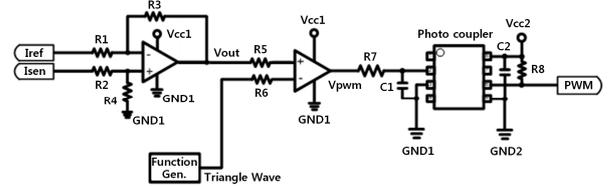


그림 2 고장전류제한기 제어회로  
Fig. 2 Current limiting controller

티비를 낮추어 OFF시간을 늘려줌으로써 사고전류가  $I_{ref}$ 를 넘지 않도록 실시간으로 제어한다. 그림 2는 제안된 제어알고리즘에 의해 구현한 제어회로를 보인다.

직류리액터  $L_f$ 에 흐르는 전류의 연속성을 확보하여 주기위하여 프리휠링 다이오드  $D_w$ 를 설치하였고, MOSFET스위치의 OFF시 직류리액터  $L_f$ 에 흐르는 전류의 하강 기울기를 조정하여 주기위한 덤프저항( $R_{dump}$ )을 사용한다. 덤프저항의 값이 커지면 MOSFET스위치 OFF시 직류리액터  $L_f$ 에 남아있던 자기 에너지가 빨리 소모되기 때문에 하강전류의 기울기가 커진다. 덤프저항의 값이 너무 작으면 MOSFET스위치가 OFF시 직류리액터  $L_f$ 에 남아있던 자기 에너지가 적게 소모되므로 하강전류의 기울기가 작아져서 적절한 듀티비의 확보가 어려워진다. 왜냐하면 PWM 스위칭시 실제적인 스위치의 듀티비는 5%이상 확보되어야 하기 때문이다.

MOSFET스위치가 ON일 때 전류  $i_{sen}(t)$ 는 식(1)과 같이 정의된다.

$$i_{sen}(t) = \frac{V_{DC}}{L_f}t + i_{sen}(0) \quad \text{단, } 0 < t < t_{on} \quad (1)$$

따라서 전류  $i_{scn}(t)$ 는 MOSFET스위치가 ON일 때 계속 증가하여  $t=t_{on}$ 에서  $I_{max}$ 이 된다. 즉,

$$I_{max} = i_{scn}(t_{on}) = \frac{V_{DC}}{L_f}t_{on} + i_{scn}(0) \quad \text{단, } 0 < t < t_{on} \quad (2)$$

또한 식(2)에서  $i_{scn}(0) = I_{min} = I_{ref}$ 로 볼 수 있으므로  $I_{max}$ 는 식(3)과 같이 정리 할 수 있다.

$$I_{max} = \frac{V_{DC}}{L_f}t_{on} + I_{ref} \quad \text{단, } 0 < t < t_{on} \quad (3)$$

MOSFET스위치가 OFF일 때 전류  $i_{scn}(t)$ 는 지속적으로 감소하며 식(4)과 같이 정의된다.

$$i_{scn}(t) = I_{max}e^{-\frac{R_{DUMP}(t-t_{on})}{L_f}} \quad \text{단, } t_{on} < t < T \quad (4)$$

따라서 전류  $i_{scn}(t)$ 는 MOSFET스위치가 OFF일 때 계속 감소하여  $t=T$ 에서  $I_{min} = I_{ref}$ 가 되고, 식(5)과 같이 정의된다.

$$I_{ref} = I_{max}e^{-\frac{R_{DUMP}(T-t_{on})}{L_f}} \quad (5)$$

## 2.2 실험 조건

직류용 고장전류제한기의 성능을 파악하기 위한 실험장치의 실험조건으로는 부하저항  $R_{load}$ 는 300Ω으로 하여 평상시 1A의 부하전류를 공급하도록 하였다.  $I_{ref}$ 는 3A로 설정하였고 이때 등가저항은 100Ω이다. 덤프저항은 5Ω으로 하여 퍼센트덤프저항 값이 5%가 되도록 하였다. 또한 부하 측에 돌입전류 발생 상황을 만들어 주기위하여 완전히 방전된 470μF의 전해캐패시터를 스위치를 통하여 인가하도록 하였다.

표 1에 제안된 직류용 고장전류제한기의 성능을 파악하기 위한 실험조건을 보인다.

## 2.3 실험 결과

그림 3에 제안된 직류용 고장전류제한기의 실험파형을 보인다. 그림 3a)는 부하에 1A의 전류가 공급되고 있을 경우 부하의 단락 등의 사고에 의한 고장전류를 기준전류  $I_{ref}$ 로 제어하는 초기과도 상태를 보인다.  $300V_{dc}$ 의 전원전압과 3mH의 평활용 직류필터에 의한 회로조건에 의하여  $10^5A/s$ 의 기울기로 전류가 상승하였으나 약 25μs이내에  $I_{ref}$ 설정 값인 3A로 고장전류를 제한하는 것을 볼 수 있다. 그림 3b)는 커패시터부하의 접속에 의한 돌입전류사고 발생 시 전제구간에서 실험파형을 보인다. 커패시터에 의해서 돌입전류가 발생하였을 경우 고장전류제한기는 초기고장전류를 3A로 제한하여 동작되고 있으며, 부하캐패시터의 전압이  $300V_{dc}$ 로 충전되면 고장전류제한기의 동작이 중지되어 정상상태로 복귀하는 것을 볼 수 있다.

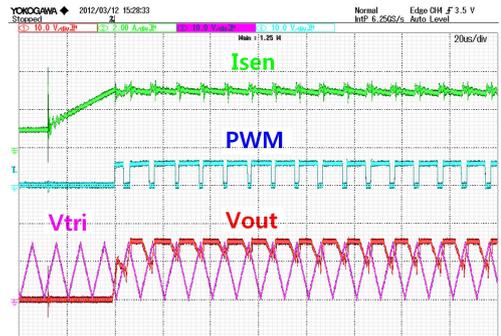
## 3. 결론

본 논문에서는 단락사고에 의한 고장전류와 돌입전류를 제어하여 직류배전계통의 보호를 위한 전류제한기술의 전력회로와 제어회로를 제안하고 실험을 진행하였다. 제안된 제어회로는 고장전류나, 돌입전류사고 발생 시 사고전류가  $I_{ref}$ 로 제어되는 것을 확인하였다.

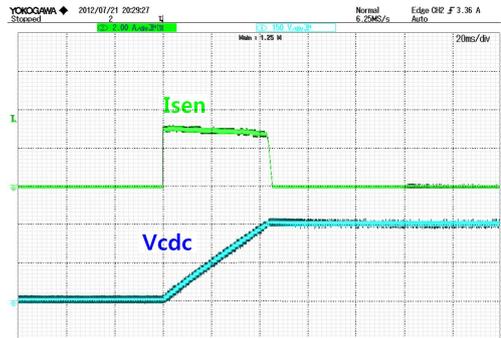
표 1 실험 및 시뮬레이션 조건

Table 1 Parameters of experiment and simulation

Parameters	Value
$V_{DC}$	300[V]
$R_{dump}$	5[Ω]
$I_{ref}$	1~3[A]
$I_{LS}$	1~3[A]
$f_{sw}$	100[kHz]
Inductor	3[mH]
Switch	CREE CMF10120



a) 부하돌입전류 발생 시 초기상태 확대파형  
( $I_{sen}=2A/div$ ,  $time=20\mu s/div$ )



b) 공진역제 다이오드를 사용한 실험 파형  
( $I_{sen}=2A/div$ ,  $V_{cdc}=150V/div$ ,  $time=20ms/div$ )

그림 3. 제안된 직류용 고장전류제한기의 실험파형( $I_{sen}=2A/div$ )

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012R1A1A2039747).

## 참고 문헌

- [1] Hyosung Kim, "DC distribution systems and circuit breaking technology", *The Journal of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 15, No. 5, pp. 40-46, 2010. 10.
- [2] Babazadeh, A. Corradini, L. Maksimovic, D. "Near time optimal transient response in DC DC buck converters taking into account the inductor current limit", *Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2009*.