

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.^[1] 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

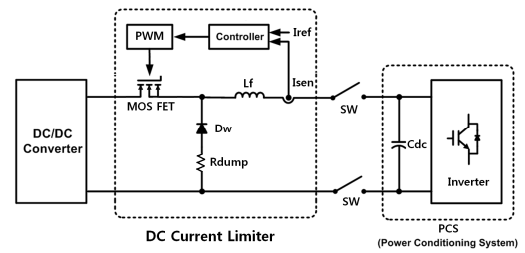


그림 1 고장전류제한기 전력회로
Fig. 1 Fault current limiting power circuit

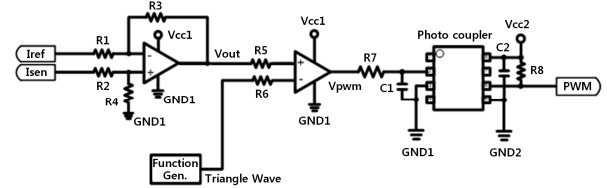


그림 2 고장전류제한기 제어회로
Fig. 2 Current limiting controller

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 전해커패시터를 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, 부하커패시터의 전압이 $300V_{dc}$ 로 충전되면 고장전류제한기의 동작이 중지되어 정상상태로 복귀하는 것을 볼 수 있다.

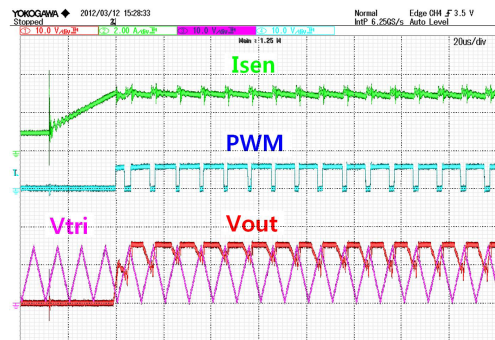
3. 결론

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.

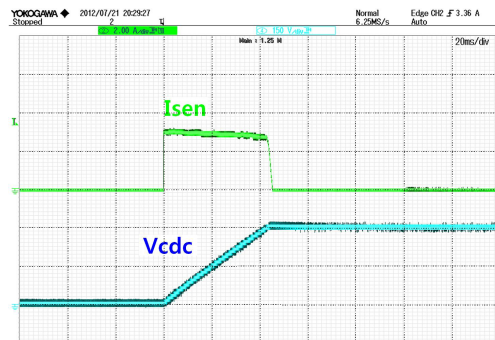
표 1 실험 및 시뮬레이션 조건

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
(Isen=2A/div, time=20us/div)



b) 공진역제 다이오드를 사용한 실험 파형
(Isen=2A/div, Vcdc=150V/div, time=20ms/div)

그림 3. 제안된 직류용 고장전류제한기의 실험파형(Isen=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*.