

Z-Source를 활용한 양방향 DC 반도체 차단기의 효율 향상을 위한 연구

임세현, 최현준, 송성근†
한국전자기술연구원

Research to improve the efficiency of bidirectional DC semiconductor circuit breaker using Z-Source

Se-Hyun Lim, Hyun-Jun Choi, and Sung-Geun Song†
Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 기존의 Z-Source 구조에서 발생하는 다이오드에 의한 전압 강하 분의 전력 손실 문제를 해결하기 위한 새로운 접근 방식을 제안한다. 기존 차단기의 경우 다이오드에 의한 전압 강하 분의 전력 손실이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 차단기의 전압 강하 분의 손실을 최소화하기 위해 블로킹 다이오드를 제거하고 커패시터로 대체하는 새로운 회로를 제안하였다.

차단기의 효율을 높일 수 있고, 냉각시스템 등 최소화하여 시스템의 부피를 줄일 수 있으며 이로써 비용을 절감할 수 있다. 최종적으로 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 제안된 회로의 성능을 검증하였다.

1. 서론

최근 AC 계통과 비교하여 전력 손실이 적은 DC 계통에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 신재생 에너지 및 ESS의 확대, 전기차 충전기 등으로 인해 DC 계통에서 양방향 반도체 차단기의 필요성이 증가하고 있다. 기존의 양방향 반도체 차단기는 가격이 비싸고 부피가 크며, 효율이 낮다는 여러 가지 문제점이 있다. 본 논문에서는 기존 차단기의 문제점에 대하여 분석하였고, 기존 사이리스터, 블로킹 다이오드 기반 Z-Source 구조의 양방향 반도체 차단기 구조에서, 블로킹 다이오드를 제거하여 시스템 효율을 향상시킬 수 있는 DC 반도체 차단기 회로를 제안하였다. 최종적으로 시뮬레이션을 통해 제안하는 회로의 타당성을 확인하였다.

2. 기존 Z-Source 양방향 차단기의 특징

일반적인 Z-Source 기반 차단기는 2개의 SCR과 2개의 다이오드 및 커플링 인덕터로 구성되어 있다^[1]. 기존의 커플링 인덕터를 사용하는 Z-Source 방식의 DC 배전용 양방향 반도체 차단기는 여러 구조가 있지만, 가장 간단한 구조인 사이리스터 2개와 다이오드 2개로 이루어진 구조^[2], 사이리스터 1개와 다이오드 4개로 이루어진 반도체 차단기가 있다. 그림 1과 같은 구조는 SCR₁이 도통 되면 전류는 SCR₁과 D₁, D₅를 지나게 된다. 일반적으로 다이오드의 전압 강하는 약 0.7V이므로, 정격 전류가 1,000A인 차단기의 경우 정상 구동 시 다이오드 1개당 약 700W의 전력 손실이 발생하는 문제가 있다.

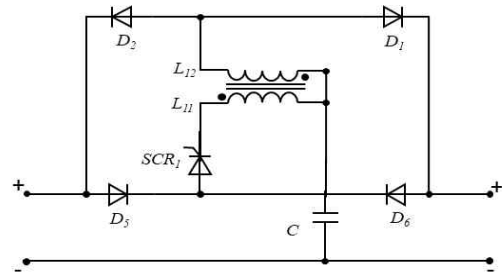


그림 1 Z-Source 기반 고신뢰성 DC 배전용 양방향 반도체 차단기 회로
Fig. 1 Conventional Z-Source based bi-directional semiconductor breaker circuit

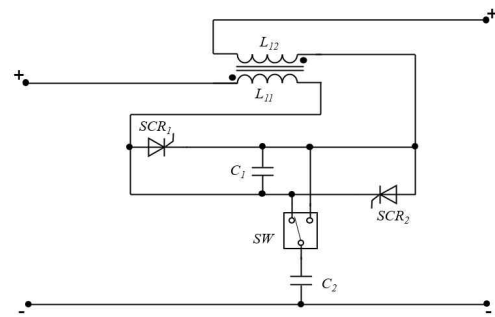


그림 2 제안된 DC 차단기 구조
Fig. 2 Proposed DC breaker structure

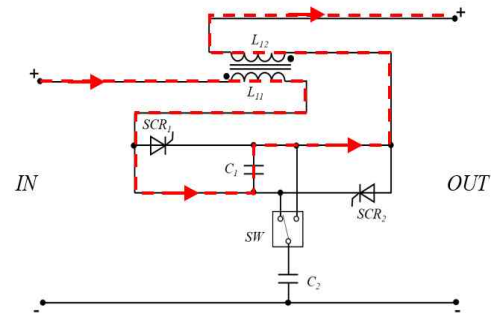


그림 3 제안된 양방향 DC 차단기의 초기 충전에 의한 블로킹
Fig. 3 Blocking by initial charging of the proposed bidirectional DC breaker

3. 최적화된 Z-Source 양방향 차단기 회로설계

기존 차단기 효율 향상을 위하여 본 논문에서는 최적화된 Z-Source 방식의 양방향 반도체 차단기를 그림 2와 같이 제안하였다. 제안하는 차단기는 기존 차단기의 회로에서 $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ 를 제거하고 SCR, 커패시터(C_1), 스위치(SW)를 하나씩 추가하였다. 그림 3에서는 C_1 이 초기 충전되는 동작을 나타낸다. 그림 3에서 제안된 차단기에 전원이 인가되면 초기에 C_1 이 충전된다. C_1 이 입력 전압과 동일한 전압으로 충전되면 SCR₁이 동작하기 전까지는 전력이 흐를 수 없게 된다. C_1 충전 완료된 상태에서는 C_1 을 통과하지 못하므로, SCR₁을 통하여 전력이 공급되며, 이 상태에서는 SW에 연결된 C_2 가 전원에 의해 충전된다. 그림 4-(a)는 사고 발생 시 C_2 방전에 의해 사고 전류, i_F 가 사고 방향으로 흐르게 되며, 커플드 인덕터에 의해 유기된 사고 전류, i_{FC} 가 전원 방향으로 흐르게 된다. i_{FC} 전류가 정상 상태의 전류인 인덕터 전류 i_L 보다 크면, 식(1)과 같이 SCR₁에 흐르는 전류가 0이 되어 SCR₁이 OFF 되며 최종적으로 전력이 차단되는 구조다. 그림 4-(b)는 사고 발생 시 역방향 동작을 보여주고 있으며, 동작 원리는 4-(a)와 동일하여, 자세한 설명은 생략한다.

$$i_{SCR_1} = i_L - i_{FC} \geq 0 \quad (1)$$

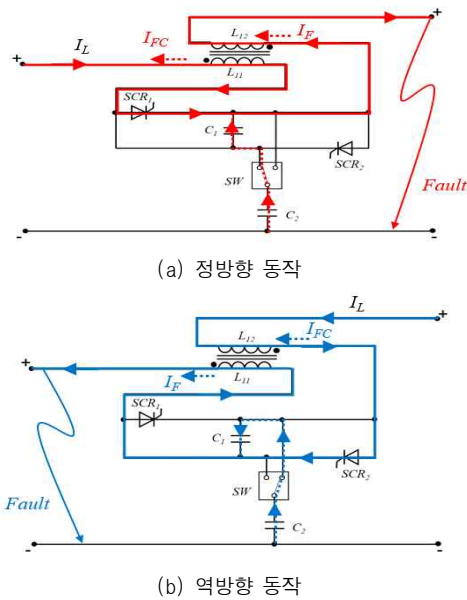


그림 4 제안된 양방향 DC 차단기의 사고 시 전류 흐름
Fig. 4 Current flow during fault in proposed bi-directional DC breaker

그림 6은 제안한 차단기가 Fault 상황이 되었을 때를 가정하여 동작의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션 결과이다. 시작시 SCR₁의 게이트 신호가 인가된다. 0.07초에는 릴레이를 이용한 부하의 Step 응답을 보여주고 있으며, 0.125초에는 SCR₁을 이용하여 의도적으로 Fault 상황을 만들었을 때의 차단기 반응을 나타낸다. 0.125초에서 SCR₁의 전류가 급격하게 커지는 것을 볼 수 있으며 이때 입력 전류를 보면, 기존에 i_L 에서 유기되는 i_{FC} 의 함으로 인해서 0으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 따라서 SCR₁은 꺼지게 된다. 즉, 제안한 차단기를 통해 과전류 상황에서 전류가 적절하게 차단 되는 것을 보여주고 있다.

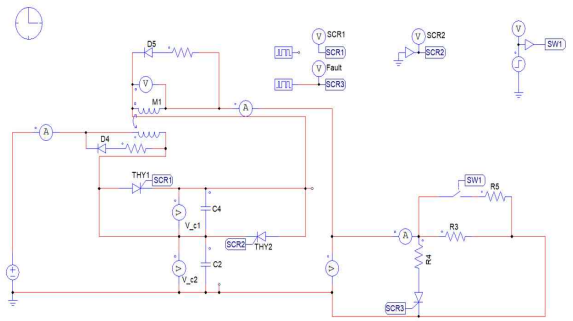


그림 5 제안된 양방향 DC Z-Source 차단기 PSIM 회로
Fig. 5 Simulation result waveform Proposed Bidirectional Z-Source Breaker PSIM Circuit

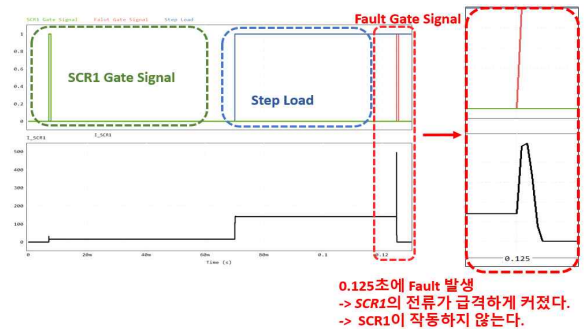


그림 6 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 6 Simulation result waveform

4. 결론

기존의 Z-Source 구조를 가지는 양방향 반도체 차단기는 SCR과 다이오드를 반드시 지나게 되므로 다이오드에 의한 전압 강하 분의 전력 손실이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 차단기의 효율 향상을 위해 새로운 회로를 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 제안하는 차단기의 동작을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2022550000120)

참고 문헌

- [1] Y. Yang, C. Huang, Z. Zhao, Q. Xu and Y. Jiang, "A New Bidirectional DC Circuit Breaker With Fault Decision-Making Capability for DC Microgrid," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 9, no. 3, pp. 2476-2488, June 2021
- [2] Yu-Jin Kim, Jong-Yun Jeong, Sung-Geun Song, & Sung-Jun Park (2022-11-25). Design Optimization of Z-Source Bidirectional DC Circuit Breaker for Control Reliability Improvement. Power Electronic s Conference, 경기.