

Renewable Energy를 이용한 대용량 하이브리드 전력변환장치의 설계

조남진, 김윤성, 우동균, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Design of High-capacity Hybrid DC-DC Converter using Renewable Energy

Nam Jin Cho, Yun Sung Kim, Dong Gyun Woo, and Byoung Kuk Lee*
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

최근 신재생 에너지를 사용하는 산업 응용분야의 다양화로 인해, 1kW~수십kW 대용량 부하들이 적용되는 경우가 많아지고 있다. 이렇게 시스템 용량이 커질수록 전력변환장치의 고효율화는 중요하며, 특히 고효율 트랜스포머를 이용하는 토폴로지들이 선호된다. 또한 다양한 레벨의 산업 응용분야들을 만족 시켜주기 위해서, 다양한 부하조건이 요구되어진다. 따라서 본 논문에서는, 다출력에 적합한 절연형 회로구조들에서 다양한 레벨의 서브 전원들을 출력하기 위한 몇 가지 방법들을 비교 분석한다. 이를 바탕으로, 대용량 하이브리드 전력변환장치의 설계를 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서 론

화석연료의 고갈로 신재생 에너지가 최근 들어 더욱 각광을 받고 있다. 신재생 에너지를 사용하는 산업 응용분야가 다양해지고, 이것으로 인해 적게는 수 kW에서 많게는 수십 kW까지 되는 대용량의 응용 사례가 적용되고 있다. 이렇게 시스템의 용량이 커질수록 전력변환장치의 고효율화는 중요하며, 고효율 트랜스포머를 이용하는 회로 구조들이 특히 요구되어진다. 풀 브리지 컨버터는 타방식의 컨버터와 비교하여 스위칭 소자에 인가되는 전압 스트레스가 절반이다. 따라서 출력용량이 증가할수록 스위치에 인가되는 전압 스트레스도 증가하기 때문에, 일반적으로 대용량 부하에서는 스위치의 전압 스트레스가 상대적으로 적은 풀 브리지 컨버터를 사용한다.^[1] 또한 다양한 레벨의 산업 응용분야들을 만족시켜주기 위해서, 다양한 부하조건들이 요구되어진다. 본 논문에서는 다출력에 적합한 몇 가지 절연형 회로구조들을 비교 분석한다. 이를 바탕으로 대용량 하이브리드 전력변환장치의 설계를 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증한다.

2. 본 론

2.1 토폴로지 비교 분석

다출력에 적합한 절연형 전력변환장치 중 대표적으로 4가지 회로 구조들을 그림 1에 나타내었다. 그림 1 (a)는 입력 전원을 공유하며 별도의 절연 정류 스테이지를 갖는 회로 구조이다.

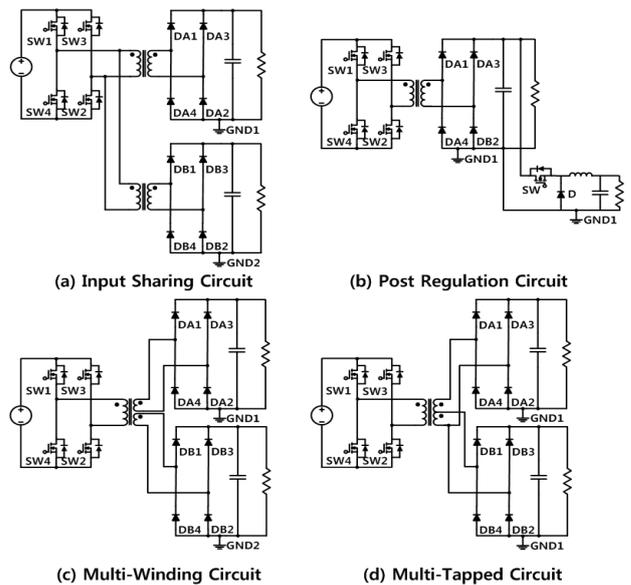


그림 1 하이브리드 전력변환장치 회로
Fig. 1 Hybrid DC-DC Converter circuit

각 정류 스테이지와 1차 측과의 권선 비에 따라 다중출력이 가능하다. 2차 측으로 에너지가 넘어갈 때 전류는 각 스테이지에 분기된다. 따라서 2차 측 파워소자의 전류 스트레스가 적다. 하지만 정격조건이 동일하다는 가정 하에 회로의 물리적인 사이즈는 커진다. 본 논문에서는 출력 레벨을 2개로 가정하였으나, 실제 n개의 출력을 내는 다출력 회로라고 가정하면, 회로 내에 트랜스포머가 각 스테이지별로 하나씩 들어가므로 총 n개가 필요하게 된다. 그러므로 트랜스포머를 하나만 쓰는 다른 토폴로지들에 비해 회로 전체의 사이즈가 커질 수 있는 단점이 있다. (b)는 포스트 레귤레이션 방식의 회로구조이다. 메인 스테이지에 레귤레이션된 전압을 서브 스테이지의 입력으로 사용하는 방법이다. 출력하고자 하는 전압 레벨에 따라 서브 스테이지는 벡 컨버터, 부스트 컨버터, 벡 부스트 컨버터 등으로 구성된다. 본 논문에서는 벡 컨버터로 메인 출력 전압보다 낮은 레벨로 출력하였다. 벡 컨버터에 의해 2차 측에 스위치가 추가되어 전력 손실이 증가하게 된다. 따라서 추가된 스위치의 경우, 손실을 최소화 할 수 있는 저전력 및 빠른 동작속도가 요구된다.^[2] 또한 2차 측의 그라운드가 같아서 전류 루프가 하나로 이루어진다. 그 결과 2차 측 전력반도체 소자들의 스트레스가 커

저 손실이 증가한다. (c)는 다중 권선 법을 이용한 회로구조이다. 하나의 코어에 다중 코일을 감아서 다출력을 낼 수 있다. 출력단의 그라운드가 서로 플로팅되어 있어서 2차 측의 스테이지 중 한 곳에 문제가 생겼을 경우 다른 스테이지에 영향을 끼치지 않는 장점이 있다. (d)는 멀티 tapped 회로구조이다. (c)와는 다르게 하나의 코어에 하나의 코일을 누적해서 감아 중간에 여러 tap을 내어 다출력을 낸다. 같은 코일을 이용하여 제어함으로써 크로스레귤레이션이 잘되는 장점이 있다. 그러나 2차 측 그라운드들이 같이 묶여있어 출력 스테이지 중에 사고가 발생했을 경우 나머지 출력 스테이지를 보호할 수 없다는 단점이 있다. 또 동일 코일로 감기 때문에 노이즈에 민감하다는 단점이 있다.

2.2 시뮬레이션

비교 분석한 내용을 검증하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. PSIM의 Thermal Module을 이용하여 동일 크기의 입력전원을 각 회로 구조에 적용했을 때 전력반도체들의 스위칭 및 전도 손실을 계산하였다. 시뮬레이션에 적용된 시스템 파라미터는 표 1과 같다. 시뮬레이션을 진행하기 전에 가정할 것들이 있다. 첫 번째, 모든 회로는 기본적으로 풀브리지 컨버터로 구성된다. 두 번째, 모든 회로는 입력 전압이 동일하고, 출력 정격이 1.3kW 시스템으로 같다. 시스템의 입력전압은 380V이다. 따라서 1차 측의 MOSFET 하나에 전압 380V가 인가되고, 전류는 3A가 흐른다. 2차 측도 트랜스포머의 턴비에 따라 다이오드에 인가되는 전압과 흐르는 전류가 결정이 된다. 충분한 마진을 두고 IXYS의 IXKH70N60C5(600V, 70A) MOSFET, Fairchild의 ISL9R3060G2(600V,30A) 다이오드를 선정하였다. 그림 2에 각 회로 구조의 출력 레귤레이션 전압을 나타내었다. 4가지 회로 구조 중, 포스트 레귤레이션 (b)는 서브 스테이지가 독립적으로 벡 컨버터로 이루어져 있으므로 L과 C의 값에 따라 그림 2의 (a),(c),(d)보다 전압 리플을 줄일 수 있다. (d)의 경우 하나의 코어로 감아 탭을 내기 때문에 다른 회로 구조보다 노이즈에 취약하다. 전압 출력 또한 리플이 상대적으로 크게 나타나는 것을 확인하였다. 그림 3은 전력반도체 소자의 스위칭 및 전도 손실을 나타내었다. 2차 측의 메인 스테이지와 서브 스테이지의 그라운드가 연결되어 있을 경우에 스위치 및 다이오드전류 스트레스가 증가하여 손실로 나타난다. 반면에 입력 전원을 공유하는 회로 구조와 다중 권선 법 회로 구조는 서로 그라운드가 다른 스테이지를 가지고 있고 입력 전류가 나눠져서 흐르기 때문에 그만큼의 소자 스트레스를 감소시켜 다른 회로 구조에 비해 손실이 적다.

표 1 하이브리드 전력변환장치 시스템 파라미터
Table 1 System Parameter of Hybrid DC-DC Converter topology

Parameter	Value	Parameter	Value
입력 전압	380 [V]	메인 출력 전압	24[V]
스위칭 주파수	10[kHz]	서브 출력 전압	14[V]
MOSFET	IXKH70N60C5 (600V 70A)	메인 출력 정격	1.1[kW]
Diode	ISL9R3060G2 (600V 30A)	서브 출력 정격	0.2[kW]

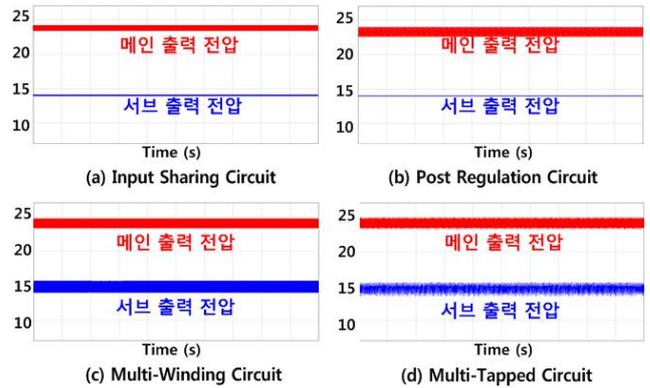


그림 2 출력 레귤레이션 전압
Fig. 2 Output Regulated Voltage

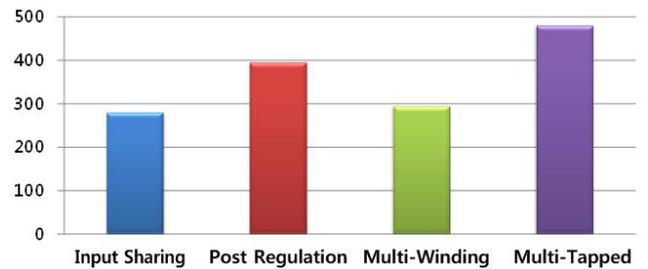


그림 3 1.3kW 정격에서의 전력반도체 소자 스위칭 및 전도 손실

Fig. 3 Switching and Conduction losses of Power Devices at 1.3kW Rated power

3. 결론

본 논문에서는 하이브리드 전력변환장치 중 대용량 부하에 적합한 풀브리지 컨버터 기반 다출력 회로 구조 4가지의 특징을 리뷰하고, PSIM의 Thermal Module을 이용하여 각각의 회로 구조의 스위칭 및 전도 손실을 시뮬레이션 하였다. 시스템의 파라미터와 기본 회로가 동일한 경우, 입력 전원을 공유하는 회로 구조와, 다중 권선 법 회로 구조의 스위칭 및 전도 손실이 가장 적었다. 앞으로 위의 두 회로 구조에 대한 더 심층적인 분석을 진행할 계획이다.

본 연구는 지식경제부 지원 하에 수행된 산업원천기술개발사업 (No. 10039318)의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 이제민, “풀 브리지 방식을 이용한 저전압 고전류용 대용량 정류기 구현”, 경북대학교 대학원 석사논문, 2005
- [2] Matsuo, Hirofumi, “Comparison of Multiple Output DC DC Converters Using Cross Regulation”, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol. 3, pp 176 189, 1980, Aug