

슈퍼커패시터 충방전용 양방향 DC-DC 컨버터의 효율을 고려한 변압기 권선비 설계

김학수, 정재현, 노의철, 김인동, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

Design of Transformer Turn-ratio with the Considerations of Efficiency in Bidirectional DC-DC Converter for EDLC

Hak Soo Kim, Jae Hun Jung, Eui Cheol Nho, In Dong Kim, *Heung Geun Kim, **Tae Won Chun
Pukyong National Univ., *Kyungpook National Univ., **University of Ulsan

ABSTRACT

본 논문은 마이크로그리드에서 에너지 저장 시스템으로 이용되는 슈퍼커패시터 충방전용 양방향 DC-DC 컨버터의 효율을 고려한 변압기 권선비 설계에 관한 것이다. 본 논문에서 다루고자 하는 시스템은 Dual Full Bridge 방식의 양방향 DC-DC 컨버터이다. 슈퍼커패시터측의 방전 동작시 컨버터는 부스트 컨버터로 동작화 할 수 있다. 따라서 동작화한 부스트 컨버터에 대해 권선비를 달리하면서 동일한 출력 조건에서 스위치 손실을 계산하였으며, 이를 통하여 최소의 손실을 가지는 출력전압 즉, 권선비를 찾는 방법을 제안한다.

1. 서론

마이크로그리드에서 사용되는 연료전지, 태양광, 풍력과 같은 신·재생 에너지원은 응답 특성이 느리거나 주변 환경의 변화로 인하여 그 출력이 변동하기 때문에 에너지 저장 시스템과 함께 구성되는 것이 바람직하다.^[1] 그림 1에 Dual Full Bridge 방식의 양방향 DC-DC 컨버터를 나타내었다.

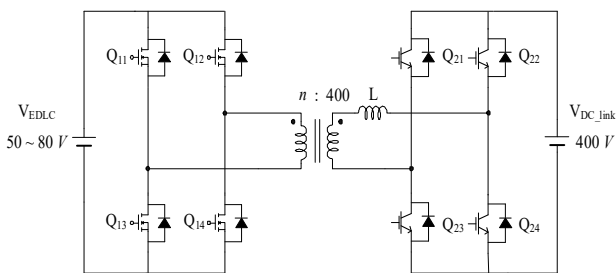


그림 1 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터 시스템

그림 1의 시스템은 변압기를 이용하여 슈퍼커패시터측과 PWM 인버터측의 DC link단이 절연되며, 슈퍼커패시터의 낮은 전압을 DC link단의 전압으로 승압시키기 용이 할 뿐만 아니라 Full Bridge 방식이기 때문에 다양한 ZCS나 ZVS 기법을 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 그림 1의 시스템의 변압기 권선비에 따른 스위치 손실이 어떻게 변하는지 알아보고, 이를 통하여 최적의 변압기 권선비를 결정하는 방법을 제안하고자 한다. 먼저 그림 1의 시스템에서 권선비가 다른 경우에 대하여 부스트 컨버터를 근사적으로 동작화 하였

다. 슈퍼커패시터는 50 ~ 80 V 에서 동작한다고 가정하였으며, 슈퍼커패시터의 전압이 50, 60, 70, 80 V 인 경우와 권선비가 다른 경우에 대하여 동일한 출력으로 방전 동작시 스위치에서 발생하는 손실을 계산하였다.

2. 양방향 DC-DC 컨버터의 동작회로

2.1 Dual Full-Bridge DC-DC 컨버터의 방전 모드

그림 1에 나타낸 컨버터는 방전 동작시 부스트 컨버터로 동작하며 충전시 벡 컨버터로 동작한다. 방전 동작은 슈퍼커패시터측의 Q_{12} 와 Q_{13} , DC link측의 Q_{21} 를 턴 온 시킴으로써 L에 흐르는 전류를 상승시키고, Q_{21} 를 턴 오프 함으로써 L에 저장된 에너지가 Q_{22} 의 다이오드를 통하여 $V_{DC-link}$ 측으로 전달된다. 다음 스위칭 패턴은 Q_{11} 과 Q_{14} , 그리고 Q_{22} 를 턴 온 시킴으로써 L에 흐르는 전류를 상승시키며 Q_{22} 를 턴 오프 시킴으로써 L의 에너지를 $V_{DC-link}$ 측으로 전달한다.

2.2 부스트 컨버터로 나타낸 Dual Full-Bridge DC-DC 컨버터의 방전 모드시 동작회로

그림 2에 Dual Full Bridge DC-DC 컨버터의 방전 모드시 동작회로를 나타내었다. 본 논문에서 부스트 컨버터로 근사화한 방법은 소자에 걸리는 전압, 혹은 흐르는 전류와 같은 전기량을 동일한 값으로 변환한 것이 아니며, L을 이용한 에너지 전달 원리가 부스트 컨버터와 유사하다는 것을 이용 하였다.

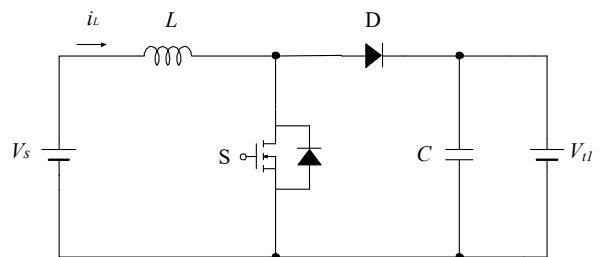


그림 2 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터 시스템을 근사적으로 동작화 한 부스트 컨버터

그림 2에 나타낸 동작화 회로의 유도 원리는 다음과 같다. 먼저 그림 1의 시스템에서 L의 전류가 상승하는 동안 Q_{12} 와 Q_{13} , 그리고 Q_{21} 과, Q_{23} 의 다이오드 온 상태는 그림 2의 시스템에서 S의 온 상태로 근사 동작화 할 수 있다. 다음으로 그림 1

의 시스템에서 L에 저장된 에너지가 V_{DC_link} 전달된 후 Q_{12} , Q_{13} 이 턴 오프 되는 과정은 그림 2의 시스템에서 S의 턴 오프 동작으로 등가화 할 수 있다.

2.3 근사화한 부스트 컨버터의 방전 동작시 유효한 스위치 손실

그림 2의 시스템에서 출력전압은 달라지더라도 동일한 출력을 내기 위해서는 L의 평균 전류의 크기가 같아져야 하지만, 스위치 S에 걸리는 전압과 스위치의 Duty ratio는 변하게 되며, 스위치 S의 턴 온 및 턴 오프시 발생하는 스위칭 손실과 턴 온 상태에서의 도통 손실은 각 경우마다 다르다. 앞서 2.2절에서 설명한 것처럼 그림 1의 시스템의 스위치에 의한 손실분을 근사화한 부스트 컨버터 회로를 이용하여 정확하게 구하는 것은 불가능하지만 그림 1의 시스템의 방전 동작시 발생하는 각각의 스위치 손실 성분을 근사화한 부스트 컨버터에 적용함으로써 대략적인 스위치 손실 경향의 변화를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 그림 1의 시스템에서 변압기의 권선비가 변하는 경우에 대한 부스트 컨버터의 스위치 손실 성분을 계산하여 간단하게 Dual Full Bridge DC DC 컨버터의 방전 모드시 스위치 손실을 최소화하는 최적의 변압비를 찾는 것을 제안한다. 그림 2에 나타난 부스트 컨버터의 전류파형을 그림 3에 나타내었으며, 스위칭이 발생하는 시점에서 고려해야 할 스위치 손실분을 표 1에 나타내었다.

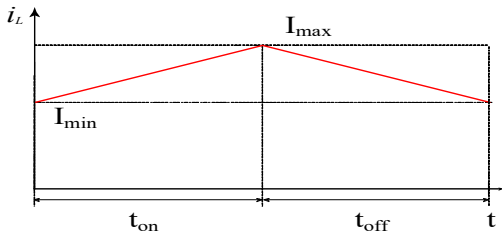


그림 3 부스트 컨버터 동작시 전류 파형

표 1 근사화한 부스트 컨버터 동작시 고려해야할 스위치 손실분

그림 2의 손실 내용	그림 1에서 등가적으로 고려해야할 손실
S 턴 온 손실	없음
S 턴 오프 손실	그림 3의 I_{max} 시점
S 도통 손실	그림 3의 t_{on} 기간
D 턴 오프 손실	그림 3의 I_{min} 시점
D 도통 손실	그림 3의 t_{off} 기간

그림 2의 부스트 컨버터 동작시 전류 연속모드로 동작하는 경우 스위치 S의 턴 온시에는 스위칭 손실이 발생한다. 하지만 그림 1의 시스템에서 L의 전류를 상승시키기 위해 Q_{12} , Q_{13} 이 턴 온되는 경우 ZCS동작이 가능하기 때문에 고려하지 않아도 된다.

3. 스위치 손실 계산 및 경향 분석

그림 4에 표 1에 나타난 유효한 스위치 손실분을 그래프로 나타내었다. 출력 조건은 3kW로 동일하다. 슈퍼커패시터를 나타내는 V_S 전압은 50, 60, 70, 80V의 4구간으로, 변압기 1차측을 나타내는 V_{11} 전압을 90 ~ 140V 까지 10V 단위로 하여 각 경우에 발생하는 스위치 손실분을 계산하였다. 손실계산은 IRFP4668 소자의 데이터 시트를 이용하였다.

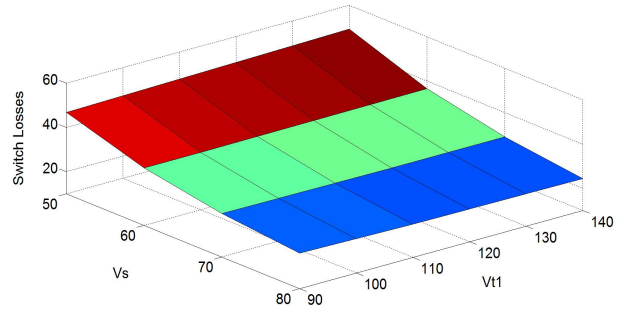


그림 4 스위치 손실에 대한 그래프

그림 4에 나타난 것처럼 V_S 가 50V인 경우 V_{11} 의 전압이 증가할수록 스위치 손실이 증가하지만 V_S 가 80V인 경우에는 V_{11} 의 전압이 증가할수록 스위치 손실이 감소하는 것을 알 수 있다. 슈퍼커패시터가 50 ~ 80V사이에서 동작한다고 가정하였을 때 V_{11} 의 전압에 따른 평균 스위치 손실은 V_{11} 이 110V인 경우에 가장 적게 발생한다.

4. 결론

본 논문에서는 Dual Full Bridge 양방향 DC DC 컨버터를 일반적인 부스트 컨버터 회로로 등가화 하였다. 등가화한 부스트 컨버터의 출력전압을 Dual Full Bridge DC DC 컨버터의 변압기 1차측 전압으로 가정하였다. 변압기의 권선비가 다른 경우를 가정하여 일정한 출력을 발생하는 경우 근사화한 부스트 컨버터의 스위치 손실분을 계산하여 Dual Full Bridge DC DC 컨버터의 스위치 손실 경향을 분석하였다. 계산 결과 Dual Full Bridge DC DC 컨버터의 방전 동작시 변압비를 110 : 400으로 하는 경우 평균 스위치 손실이 가장 적게 발생하였다. 추후 충전모드도 고려하여 충전시 스위칭 손실을 포함하여 전체 손실을 구함으로써 충방전 동작을 모두 고려한 최적의 변압기 권선비를 구하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 변압기를 포함하고 있는 전력변환장치의 설계에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 결과입니다. (NO. 2010T100100465)

참고 문헌

- [1] 이종학, 최우진, “슈퍼커패시터의 최적 충방전을 위한 양방향 하프브리지 컨버터의 제어”, 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 207~208, 2010, 11.