

슈퍼커패시터용 양방향 DC-DC 컨버터의 충전 및 방전시 효율을 고려한 변압기 권선비 설계

김학수, 정재현, 노의철, 김인동, *김홍근, **전태원, ***최남섭
 부경대학교, *경북대학교, **울산대학교, ***전남대학교

Design of Transformer Turn-ratio with the Considerations of Charging and Discharging 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, and *Nam Sup Choi
 Pukyong Nat'l Univ., *Kyungpook Nat'l Univ., **University of Ulsan, ***Chonnam Nat'l Univ.

ABSTRACT

본 논문은 마이크로 그리드에서 에너지 저장용 시스템으로 이용되는 슈퍼커패시터용 양방향 DC-DC 컨버터의 충전 및 방전시 효율을 고려한 변압기 권선비 설계에 관한 것이다. 충전 전 시스템의 토폴로지는 Dual Full Bridge 방식의 양방향 DC-DC 컨버터이다. 이 컨버터는 슈퍼커패시터의 충전 및 방전시의 스위칭 동작에 따라 벡 또는 부스트 모드로 동작하므로 동일한 출력 조건하에 권선비를 달리해가면서 모드별로 스위칭 손실을 계산하였으며, 손실이 최소로 되는 변압기의 권선비를 제시하고자 한다.

1. 서론

마이크로 그리드에 사용되는 태양광, 풍력, 연료전지 등과 같은 신재생 에너지를 이용한 분산전원 시스템은 환경조건에 의한 불안정한 전력공급과 부하 급변 시 느린 응답특성으로 인해 전력계통의 품질저하를 야기할 수 있다. 이와 같은 이유로 그리드에서 발생할 수 있는 전력 급변을 완화할 수 있는 에너지 보상장치로 부하 응답특성이 매우 양호한 슈퍼커패시터가 각광을 받고 있다. 단방향 DC-DC 컨버터를 이용하여 부하에 전력을 공급하는 역할만 하는 연료전지와 달리, 슈퍼커패시터는 충·방전을 통한 전력의 수수가 가능하므로 양방향 DC-DC 컨버터를 이용하여 전력의 흐름을 제어한다.

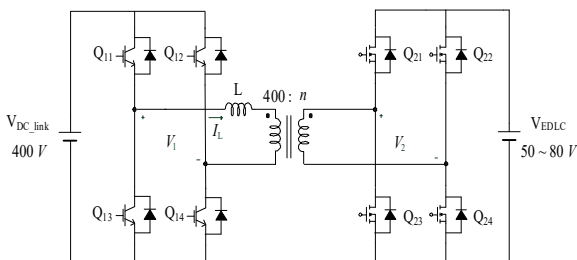


그림 1 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터 시스템

그림 1의 양방향 DC-DC 컨버터 시스템은 본 논문에서 사용된 토폴로지로서 변압기를 이용하여 슈퍼커패시터 측과 PWM 인버터 측의 DC link단이 절연되며, 변압기의 주목적은 DC 링

크단과 슈퍼커패시터의 전압레벨을 매칭시키기 위함이다. 본 논문에서는 슈퍼커패시터의 충·방전시 각 모드의 스위칭 패턴에 따른 스위칭 손실을 고려하고, 그림 1의 시스템의 변압기 권선비에 따라 스위칭 손실이 어떻게 변하는지 분석하여 최고의 효율을 갖는 변압기 권선비를 결정하는 방법을 제안한다.

2. 양방향 DC-DC 컨버터의 충·방전시 손실

2.1 충전 모드시 스위칭 손실

그림 1에 나타난 컨버터는 충전 모드시 벡 컨버터로 동작하며, 충전 동작은 V_{DC_link} 측의 Q_{11} 과 Q_{14} 를 턴 온시킴으로써 L에 흐르는 전류를 상승시키고, 그림 2의 t_1 에서 Q_{11} 과 Q_{14} 를 턴 오프함으로써 L에 저장된 에너지가 Q_{14} 와 Q_{13} 의 다이오드를 통해 슈퍼커패시터측으로 전달되면서 L에 흐르는 전류는 하강한다. 한편, 슈퍼커패시터측의 Q_{21} Q_{24} 의 MOSFET은 모두 턴 오프 상태를 유지하여 Q_{21} Q_{24} 의 역병렬 접속 다이오드가 도통되는 정류모드로 동작한다. 그림 2는 충전 모드시 스위칭 패턴이다.

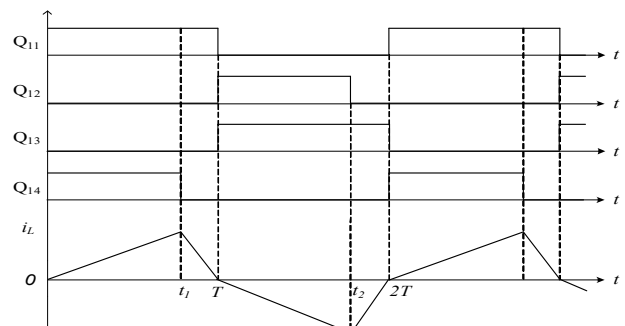


그림 2 충전 모드시 스위칭 방식과 인덕터 전류파형

그림 1의 시스템이 슈퍼커패시터측의 전압변동에 관계없이 동일한 출력을 내기 위해서는 L의 평균 전류의 크기가 같아야 하는데, 그에 따라 각 스위치 Q에 걸리는 전압과 스위치의 Duty ratio는 변하게 되며, 스위치 Q의 턴 온 및 턴 오프시 발생하는 스위칭 손실과 턴 온 상태에서의 도통 손실도 각 경우마다 달라진다. 하지만 스위칭 패턴에 따른 회로 동작을 분석하여 스위칭이 발생하는 시점에서의 각 소자의 손실분을 파악하면 스위칭 손실을 최소화하는 최적의 변압비를 찾을 수 있다. 도통손실 및 스위칭 시점에서 고려해야 할 스위칭 손실분

을 표 1에 나타내었다.

표 1 충전 모드시 고려해야할 스위치 손실분

손실	소 자	비고
도통손실	$Q_{11}, Q_{14}, D_{21}, D_{24}$	I
	$Q_{13}, D_{14}, D_{21}, D_{24}$	II
	$Q_{12}, Q_{13}, D_{22}, D_{23}$	III
	$Q_{12}, D_{11}, D_{22}, D_{23}$	IV
스위칭손실	Q_{11} 턴 오프 손실	t_1
	Q_{13} 턴 오프 손실	t_2

2.2 방전 모드시 스위칭 손실

그림 1에 나타낸 컨버터는 방전 모드시 부스트 컨버터로 동작하며, 전력의 흐름은 충전시와 반대가 된다. 방전 동작은 슈퍼커패시터측의 Q_{21} 와 Q_{24} , DC link측의 Q_{13} 을 턴 온 시킴으로써 L에 흐르는 전류를 상승시키고, Q_{13} 을 턴 오프 함으로써 L에 저장된 에너지가 Q_{11} 의 다이오드를 통하여 $V_{DC,link}$ 측으로 전달된다. 다음 스위칭 패턴은 Q_{22} 과 Q_{23} , 그리고 Q_{11} 을 턴 온 시킴으로써 L에 흐르는 전류를 상승시키며 Q_{11} 을 턴 오프 시킴으로써 L의 에너지를 $V_{DC,link}$ 측으로 전달한다

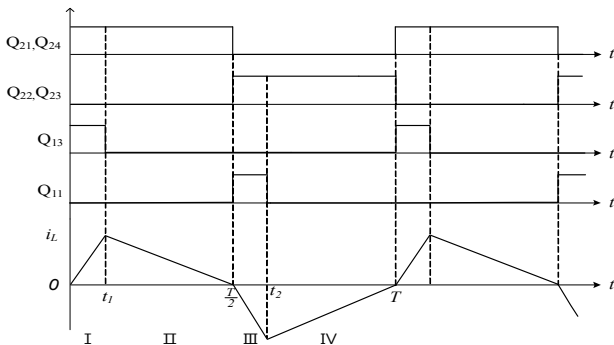


그림 3 방전 모드시 스위칭 방식과 인덕터 전류파형

충전모드와 마찬가지로 방전모드도 각 스위칭 구간에서 고려해야 할 손실분은 표 2와 같다.

표 2 방전 모드시 고려해야할 스위치 손실분

손실	소 자	비고
도통손실	$Q_{13}, D_{14}, Q_{21}, Q_{24}$	I
	$D_{11}, D_{14}, Q_{21}, Q_{24}$	II
	$Q_{11}, D_{12}, Q_{22}, Q_{23}$	III
	$D_{12}, D_{13}, Q_{22}, Q_{23}$	IV
스위칭손실	Q_{13} 턴 오프 손실	t_1
	Q_{13} 턴 오프 손실	t_2

3. 스위칭 손실계산 및 경향분석

그림 4에 표 1에 나타낸 유효한 스위치 손실분을 그래프로

나타내었다. 출력 조건은 3kW로 동일하다. 슈퍼커패시터를 나타내는 V_S 전압은 50, 60, 70, 80V의 4구간으로, 변압기 1차 측을 나타내는 V_U 전압을 90~140V까지 10V 단위로 하여 각 경우에 발생하는 스위치 손실분을 계산하였다. 손실계산은 IRFP4668 소자의 데이터 시트를 이용하였다.

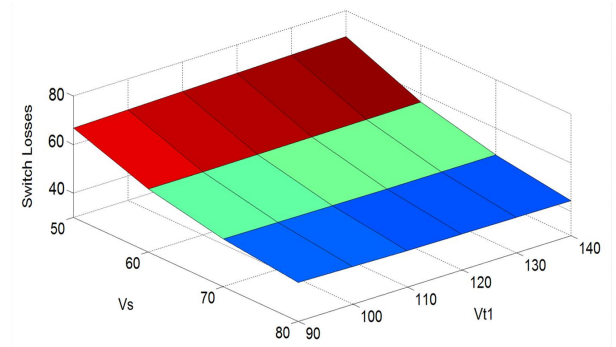


그림 4 충전 모드시 스위치 손실 그래프

그림 4에 나타난 것처럼 V_S 가 50V인 경우 V_U 의 전압이 증가할수록 스위치 손실이 증가하지만 V_S 가 80V인 경우에는 V_U 의 전압이 증가할수록 스위치 손실이 감소하는 것을 알 수 있다. 슈퍼커패시터가 50~80V사이에서 동작한다고 가정하였을 때 V_U 의 전압에 따른 평균 스위치 손실은 V_U 이 110V인 경우에 가장 적게 발생한다. 방전시 스위치 손실에 대한 그래프는 표 2를 기초로 작성되며 충방전 모두를 고려한 스위치 손실은 추후 실험적으로 입증할 예정이다.

4. 결론

본 논문에서는 Dual Full Bridge 양방향 DC DC 컨버터의 스위치 손실을 최소화 하는 변압기 권선비 설계에 대하여 제안하였다. 변압기의 권선비가 다른 경우를 가정하여 일정한 출력을 발생하는 경우 충·방전 모드의 동작을 각각 고려하여 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 실험을 통하여 계산값과 실측값을 비교함으로써 타당성을 입증하고자 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.