절연형 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터에 대한 손실 분석

구법진, 김학수, 선다운, 정혜수, 노의철, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

Loss Analysis for Isolated Dual Full-Bridge Bidirectional DC-DC Converter

Beob Jin Koo, Hak Soo Kim, Daun Sun, Hye Soo Jeong, Eui Cheol Nho, *Heung Geun Kim, **Tae Won Chun
Pukyong Nat'l Univ., *Kyungpook Nat'l Univ., **University of Ulsan

ABSTRACT

본 논문에서는 절연형 Dual Full Bridge 양방향 DC DC 컨버터의 손실 분석을 다루었다. 동일한 컨버터라 하더라도 스위칭 기법과 스위칭 주파수에 따라 손실이 다르게 나타나는데 여기서는 ZCS 가 되는 조건에서 스위칭 주파수를 10 [kHz] 로 하여 분석하였으며 계산결과가 실험결과와 거의 일치함을 확인하였다.

1. 서 론

마이크로그리드 시스템에서 사용하는 연료전지의 경우 부하 급변 시 응답특성이 느리기 때문에 응답특성이 빠른 슈퍼커패시터나 배터리와 같은 에너지 저장장치로 이를 보상한다. 전원과 부하 사이에 절연이 요구되거나 1차측과 2차측 DC전압차가 큰 경우, Dual Full Bridge 양방향 DC DC 컨버터를 사용하는데 Buck 모드, Boost 모드, Phase Shift 모드 등으로 구동할 수 있다.

본 논문에서는 시스템 출력이 3 [kW] 이고 1차측 DC Link전압은 400 [V], 2차측 슈퍼커패시터전압은 50 [V] 에서 80 [V] 로 가변되는 Dual Full Bridge 구조의 양방향 DC DC 컨버터의 Buck 모드 충전 시 발생하는 손실을 계산할 수 있는 모델을 제안한다.

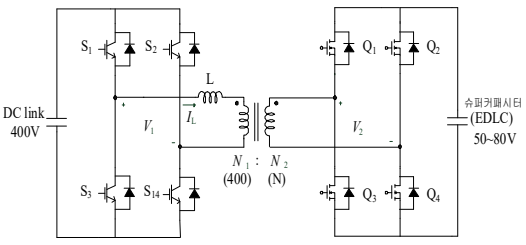

그림 1 절연형 Dual full-bridge 양방향 DC-DC 컨버터
Fig. 1 Isolated dual full-bridge bidirectional DC-DC converter

2. 양방향 DC-DC 컨버터에서 발생하는 손실

2.1 Buck 모드에서의 스위치 손실 성분

그림 2는 스위치에서 발생하는 손실을 나타낸 것이다. 스위치 손실을 계산하기 위해 고려해야 할 사항은 턴온손실, 턴오프손실, 그리고 도통손실이 있다. 하지만 Buck 모드로 충전 시 전류 불연속모드에서 동작하기 때문에 스위치 턴온 시 ZCS 동작으로 인하여 턴온손실은 발생하지 않는다고 가정한다.

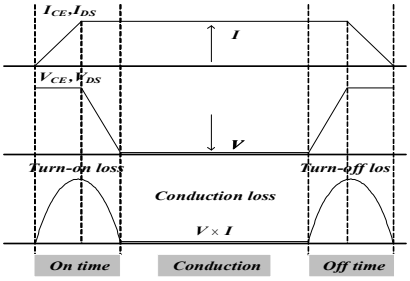

그림 2 스위치 손실 성분
Fig. 2 Components of Switch losses

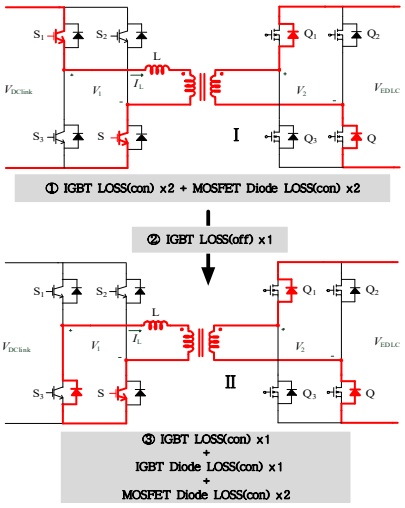

그림 3 Buck 모드 충전 시 구간 별 발생하는 스위치 손실
Fig. 3 Occurring switch losses with buck mode in charging operation

그림 3은 절연형 양방향 DC DC 컨버터가 Buck 모드로 충전

할 때 발생하는 총 스위치 손실성분을 나타낸 것이다. 스위치 손실성분은 IGBT의 도통손실, 역병렬 다이오드손실과 턴오프 손실 그리고 MOSFET의 다이오드 도통손실이 있다. 이 때 Ⅰ, Ⅱ구간은 인덕터 L의 전류파형 반주기에 해당하고 손실의 합은 ①+②+③ 이다.

2.2 변압기 손실

그림 4는 변압기의 등가회로를 나타낸 것이다. 변압기의 손실은 철손과 동손의 합이다. 철손은 와류손과 히스테리시스손의 합이며, 동손은 1차측과 2차측 권선에서 발생하는 손실의 합이다. 도체의 저항 R 은

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (1)$$

(단, ρ = 구리의 저항율 1.724×10^{-8} [Ω· m])

을 이용하여 구할 수 있다.

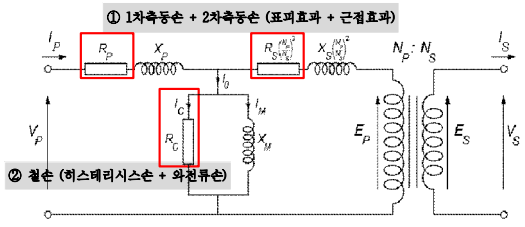

그림 4 변압기의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of transformer

2.3 기타 손실

스위치손실과 변압기손실 외에 발생할 수 있는 손실은 시스템 소자를 연결하는 전선의 저항 손실과 노드에서 발생하는 접점저항에 의한 손실 등이 있다. 전선의 저항은 식 (1)을 이용하여 계산하였으며 노드의 접점 저항은 0 (Zero) [Ω] 으로 가정하였다.

3. 손실 모델을 이용한 계산치와 실험을 통한 손실 비교 분석

그림 5에 총 손실을 계산하는데 사용된 IGBT모델의 등가회로를 나타내었다. Full Bridge 방식의 DC DC 컨버터는 인덕터 전류를 기준으로 반주기 대칭으로 동작한다. 따라서 계산값과 실험값을 비교하는데 있어 반주기 동작을 이용하여 검증하였다. 표 1에 계산에 사용한 IGBT 모델과 변압기, 그리고 기타 손실에 대한 파라미터를 나타내었다. IGBT는 IXYS사의 MII 100 12 A3의 Data sheet를 참고하였다.

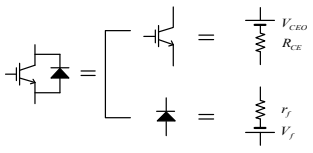

그림 5 IGBT의 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of IGBT

표 1 손실 분석을 위한 파라미터
Table 1 Parameters for analysis of loss

IGBT 모듈	IGBT	V_{CEO}	1.5 [V]
		R_{CE}	15.29 [mΩ]
	Diode	V_{f0}	1.1 [V]
		r_f	28.6 [mΩ]
변압기	철손	*Core Volume*	196490 [mm^2]
		Core Loss (10kHz)	70 [kW/m^3]
	동손	선로 저항	50 [mΩ]
인덕터	철손	*Core Volume*	196490 [mm^2]
		Core Loss (10kHz)	70 [kW/m^3]
	동손	선로 저항	109 [mΩ]
선로 손실		선로 저항	2.6 [mΩ]

3.1 손실 계산 결과

3 [kW] 시스템에서 DC Link전압은 400 [V] 이고 슈퍼커패시터 전압은 50 [V], 변압기 권선비는 400:120 일 때를 가정하고 총 손실을 계산하였다. 이 때 인덕터 L에 흐르는 전류가 연속과 불연속의 임계동작을 하기 위한 인덕턴스는 135 [μH] 이다. 1차측 S1, S4 한쌍의 스위치만 동작하여 10 [kHz] 의 주파수로 동작하는 가정 하에 MATLAB을 이용하여 스위치 손실을 계산하였으며 변압기에서 발생하는 손실을 추가하여 총 손실을 계산하였다. 그 결과 203.65 [W] 의 손실이 발생하는 것을 확인하였고 3 [kW] 의 약 6.8 [%] 이다.

3.2 실험 결과

실험을 하기 위한 조건은 앞에서 언급한 손실계산 조건과 동일하게 하였다. 그 결과 199.65 [W] 의 손실이 발생하는 것을 확인하였고 3 [kW] 의 약 6.7 [%] 이다.

4. 결 론

본 논문에서는 절연형 Dual Full Bridge 양방향 DC DC 컨버터의 Buck 모드 동작 시 발생하는 손실을 분석하여 이론적 계산과 실험결과를 비교해 보았다. 손실 계산 결과가 실험결과보다 약 0.1 [%] 정도 차이가 났지만 이는 계측장비의 오차허용범위를 고려한다면 거의 일치한다고 볼 수 있다. 따라서 발생하는 손실 성분을 고려하여 시뮬레이션 결과와 실험결과가 거의 일치한다는 것을 검증하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 결과입니다. (NO. 20111020400260)

참 고 문 헌

[1] 송승협, 정재헌, 김진영, 노의철, 김인동, 김홍근 , 전태원, “연료전지 응답특성 보상용 슈퍼커패시터 에너지 저장 시스템”, 전력전자학회 논문지 제16권 제5호, pp. 415~531, 2011, 10.