

하이브리드 ESS를 위한 양방향 인터리브드 DC-DC 컨버터의 최적 필터설계기법

노신영¹, 권민호¹, 최세완¹, 이동주², 백석민², 연인철³
서울과학기술대학교¹, 국제통신공업², LG CNS³

Optimal Filter Design Method of Bi-directional Interleaved DC-DC Converter for Hybrid ESS

Shinyoung Noh¹, Minho Kwon¹, Sewan Choi¹, Dongju Lee², Seokmin Paik², Inchol Yeon³
Seoul National University of Science and Technology¹, Kukje Electric MFG. Co., Ltd.²,
LG CNS Co., Ltd.³

ABSTRACT

본 논문에서는 리튬이온 배터리 모델을 고려한 양방향 인터리브드 DC DC 컨버터의 최적 수동소자 설계 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 배터리 리플전류 제한값과 필터 커패시터의 전류정격을 만족시키는 최대 허용 리플전류를 설계함으로써 최소한의 인덕턴스값과 최적의 필터 커패시터를 구한다. 본 설계 기법을 하이브리드 ESS를 위한 100kW급 양방향 인터리브드 DC DC 컨버터에 적용하여 설계하였다.

1. 서론

건물 및 공장은 정전사고로부터 중요 부하를 보호하기 위하여 비상전원공급시스템을 갖추고 있고, 경부하시 및 피크부하시, 에너지활용을 극대화하기 위해서 수요관리형 에너지저장시스템을 갖추고 있다. 최근에는 수요관리 및 비상전원공급기능을 통합시킨 하이브리드 ESS 제품에 대한 연구가 진행되고 있다. 그림 1은 제안하는 하이브리드 ESS의 구성도이다. 듀얼기능 통합 PCS는 AC DC 컨버터, DC AC 인버터 그리고 양방향 DC DC 컨버터로 구성되어 있다. DC AC 인버터는 기존의 UPS에서의 DC AC 인버터와 같이 중요부하에 항상 전압을 공급하는 기능을 하며, AC DC 컨버터는 정상동작시 DC전압을 제어하고 계통이상시 배터리의 여유전력을 무정전 필요 일반부하에 공급하는 기능을 한다. 또한 양방향 DC DC 컨버터는 리튬 이온 배터리의 충방전을 담당하게 된다. 양방향 DC DC 컨버터는 그림 2와 같이 2상 인터리빙 하프브릿지 컨버터를 선정하였다. 배터리 충전시 배터리 전류리플은 온도를 높이고 수명을 단축시킬 수 있기 때문에 일정한 값으로 제한되는데 이는 DC DC 컨버터의 출력 전류에 의해서 결정되기 때문에 컨버터의 출력 허용 전류리플에 대한 정확한 설계가 필요하다. 기존의 인터리빙 기법에 의하여 배터리측 등가모델을 이용하지 않고 출력필터를 설계하는 경우 인덕턴스가 필요이상의 값으로 설계된다.

본 논문에서는 배터리 등가모델을 이용하여 DC DC 컨버터의 출력특성을 모델링하고 이를 이용하여 배터리측 허용 전류리플과 필터 커패시터의 전류정격을 만족하면서 인덕턴스를 최소화할 수 있는 출력필터 설계 기법을 제안한다. 제안하는 설계기법을 검증하기 위해 수식적 모델을 통한 결과와 PSIM 시뮬레이션 결과를 비교하여 타당성을 검증하였다.

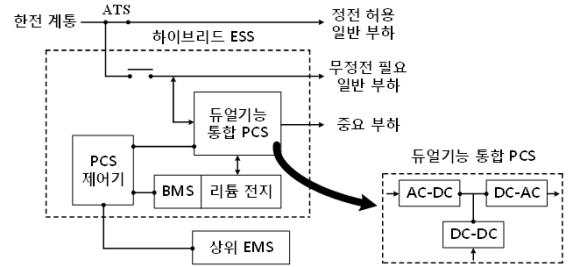


그림 1 하이브리드 ESS 구성도

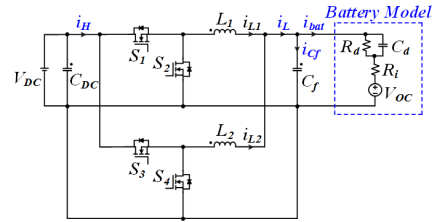
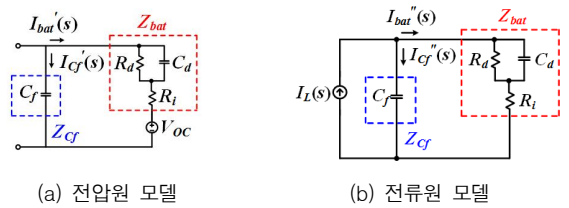


그림 2 양방향 2상 인터리빙 하프브릿지 컨버터



(a) 전압원 모델 (b) 전류원 모델

그림 3 배터리측 등가 모델

2. 제안하는 설계기법

그림 2는 DC DC 컨버터의 회로도이다. 필터 커패시터 전류 i_{Cf} 와 배터리 전류 i_{bat} 는 그림 3(a), 그림 3(b)와 같이 중첩의 원리를 이용하여 구할 수 있으며 수식은 다음과 같다.

$$I_{Cf}(j\omega) = \frac{\{R_d R_i C_d C_f (j\omega)^2 + (R_d + R_i) C_f (j\omega)\} I_L(j\omega)}{R_d R_i C_d C_f (j\omega)^2 + \{(C_d + C_f) R_d + C_f R_i\} (j\omega) + 1} \quad (1)$$

$$I_{bat}(j\omega) = \frac{(R_d C_d (j\omega) + 1) I_L(j\omega)}{R_d R_i C_d C_f (j\omega)^2 + \{(C_d + C_f) R_d + C_f R_i\} (j\omega) + 1} \quad (2)$$

표 1 컨버터 설계 사양

최대 출력용량	100 kW
V_{DC}	750 V
V_{bat}	462 ~ 639.1 V
I_{bat}	186 A
ΔI_{bat}	9.3 A 이내
$I_{Cf,rms}$	15 A 이내
f_s	10.8 kHz
R_d	26.3 mΩ
C_d	2016.74 F
R_i	24.5 mΩ

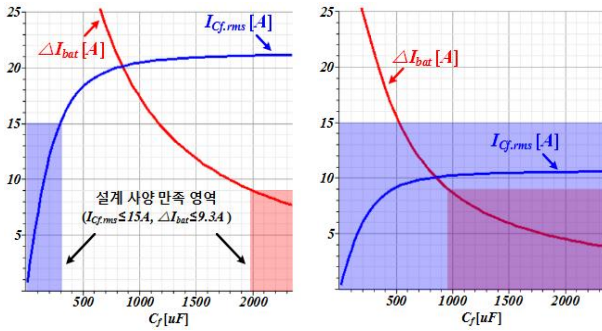


그림 4 필터 커패시터에 따른 전류 정격 비교

식 (1)로부터 i_L 의 직류 성분에 대해서는($\omega=0$) I_{Cf} 는 0이고 식 (2)로부터 I_{bat} 는 저전압측 평균 전류 I_L 이다. 따라서 DC DC 컨버터의 출력전류의 평균값은 전부 배터리로 들어가게 된다. 그리고 식(1)과 식(2)를 이용하여 전류리플에 관한 값 또한 얻을 수 있다. ($\omega=2\pi f_s$).

표 1은 DC DC 컨버터의 설계 사양이다. 그림 4(a), (b)는 식 (1), (2)로부터 필터 커패시터에 따른 배터리 전류리플과 커패시터 전류의 실효치를 나타낸다. 그림 4(a)에 경우, 커패시터 전류정격을 만족하려면 필터커패시터를 300uF이하를 사용하여야 하고, 배터리 리플전류 제한값을 만족하려면 1930uF이상을 사용하여야 한다. 두 조건을 만족시키는 커패시터가 없으므로 허용 리플전류를 40%로 설계할 수 없음을 알 수 있다. 그림 4(b)에 경우, 930uF이상을 사용하면 배터리와 커패시터의 전류정격을 만족시키지만 최적설계는 아니다. 최적점을 찾기 위해 ΔI_L 에 따른 사용가능한 필터 커패시터를 그림 5에 나타내었다. 배터리 리플전류 제한값과 필터 커패시터의 전류정격을 만족시키는 최대 허용 전류리플은 28.8%이다.

3. 시뮬레이션

제한하는 설계기법을 통해 얻은 최적의 소자 선정 값은 $L_1, L_2 = 163\mu H$, $C_f = 1370\mu F$ 이다. 설계된 소자값을 식 (1), (2)에 대입한 이론값은 $\Delta I_L=53.26A$, $I_{Cf,rms}=14.9A$, $\Delta I_{bat}=9.25A$ 이고, 그림 6은 PSIM 시뮬레이션 결과로 이론값과 시뮬레이션 결과값이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 커패시터의 경우 정확한 최적점으로 사용할 수 없고, 실제 제품값을 확인하고 최적점에 근접하게 사용해야 할 것이다.

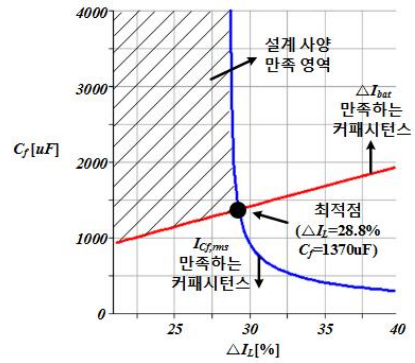
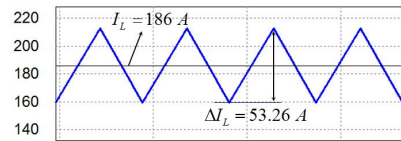
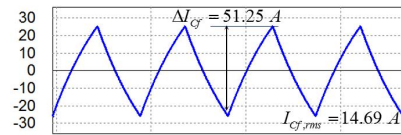


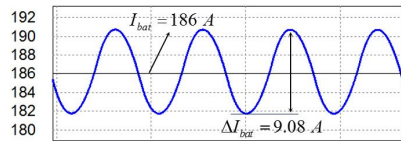
그림 5 ΔI_L 에 따른 사용가능한 필터 커패시터



(a) 저전압측 전류



(b) 필터 커패시터 전류



(c) 배터리 전류

그림 6 시뮬레이션 결과

4. 결론

본 논문에서는 하이브리드 ESS를 위한 100kW급 양방향 인터리브드 DC DC 컨버터의 최적 수동소자 설계기법을 제안하였다. 배터리와 커패시터의 전류정격을 만족시키는 최대 허용 전류리플을 선정함으로써 최소한의 인덕턴스와 최적의 필터 커패시터를 구하고, 제한하는 설계기법을 통한 이론값과 PSIM 시뮬레이션 결과를 비교하여 타당성을 검증 하였다.

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20142010102600)

참고 문헌

- [1] Changwoo Yoon, Joongeun Kim, and Sewan Choi, "Multiphase DC DC Converters Using a Boost Half Bridge Cell for High Voltage and High Power Applications", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 26, No. 2, pp. 381-388, Feb 2011.
- [2] Low Wen Yao and Aziz, J.A. "Modeling of Lithium Ion Battery with Nonlinear Transfer Resistance," in Proc. IEEE IAPEC, 2011, pp. 104-109.