

DC-DC 컨버터의 성능 향상을 위한 CRM 제어기법에 관한 연구

강경필, 조영훈, 최규하
 건국대학교 전력전자 연구실

A Study on CRM Control Techniques to Improve Performance of DC-DC Converter

Kyoung Pil Kang, Y.H. Cho, G.H. Choe
 Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

ABSTRACT

This paper deal with a CRM control method of DC DC converter of increase its performance. It allows high speed switching in critical current region when driving converter to improve efficiency of converter. The validity of the theory is verified by the comparison of the simulation results proposed between method and conventional method.

1. 서론

화석연료의 사용 및 환경오염 등의 문제가 지속되고 있다. 이러한 문제의 해결책을 마련하고자 전 세계적으로 신재생에너지에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다.

태양광 발전 시스템과 배터리, 계통과 연계되는 PV BESS는 부하에서 사용하는 전력량과 PV Array에서 생산되는 전력에 따라 배터리가 감당하는 전력이 변동된다. 이러한 전력변동의 상황에서 보다 안정적인 전력사용을 위하여 ESS의 고효율화는 필수적이다.

본 논문에서는 ESS에서 Battery단의 전력변환 효율을 증가시키기 위하여 동기 벅 컨버터(Synchronous Buck Converter)의 인덕터에 흐르는 전류의 최소값($I_{L, valley}$)이 0이 되도록 벅 컨버터의 연속 전류 임계조건에서 스위칭 소자의 ZVS가 가능하도록 스위칭 주파수를 가변 하였다.^{[1][2]}

2. CRM 제어기법

벅 컨버터에서 인덕터에 흐르는 전류는 스위치가 턴 온 및 턴 오프 되는 주기, 인덕터의 값(L), 입력(V_g)·출력(V_o) 전압에 따라서 최대값과 최소값이 정해지며 최대값과 최소값을 구하는 식은 다음과 같다.^[3]

$$I_{peak} = \frac{V_g - V_o}{L}DT + I_{valley} \quad (1)$$

$$I_{valley} = \frac{-V_o}{L}(1-D)T + I_{peak} \quad (2)$$

$$I_L = \frac{I_{peak} + I_{valley}}{2} \quad (3)$$

또한 식(1)과 식 (2)를 통하여 인덕터 전류의 평균값을 구하면 식 (3)과 같다. 인덕터의 전류가 정상상태에서 연속으로 흐를 수 있도록 하는 임계 조건은 식(2)의 I_{valley} 값이 0이 되도록 변수들을 선정한다. 다음의 식 (4)~(5)는 연속전류 임계조건을 만족하도록 식(2)를 전개한 것이다.

$$\frac{V_o}{2L}(1-D)T = \frac{V_o}{R} \quad (4)$$

$$T = \frac{2L}{R(1-D)}, (0 < D < 1) \quad (5)$$

식(5)에서 스위칭 주파수는 듀티비가 일정할 때, 부하의 용량과 반비례함을 알 수 있다. 예를 들어 입력전압 200[V], 출력전압 100[V]의 조건에서 본 논문에서 제안하는 주파수 가변을 통한 연속전류 임계조건을 만족하는 스위칭 주파수를 구하면 다음의 표 1과 같다.

표 1 일정 듀티 조건에서 전력에 따른 저항 및 스위칭 주파수
 Table 1 Switching frequency and resistance for output power with constant duty ratio (D=0.5)

D = 0.5		
전력 [W]	저항 [Ω]	F_{sw} [kHz]
1000	10	31.25
950	10.52	32.88
900	11.11	34.12
850	11.76	36.75
800	12.5	39.06
750	13.33	41.66
700	14.29	44.66
600	16.67	52.09
500	20	62.5
400	25	78.13
300	33.33	104.16
250	40	125

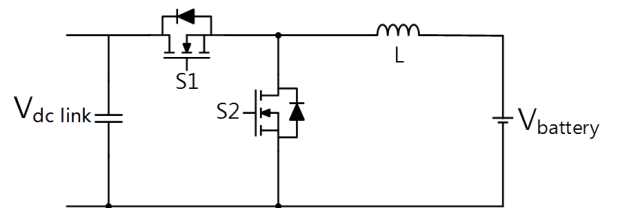


그림 1 동기 벅 컨버터 개념도
 Fig. 1 Concept of synchronous buck converter

3. 모의 실험

모의 실험을 위하여 그림 1과 같은 동기 벽 컨버터를 사용하였으며 스위칭 S1과 S2가 상보적으로 동작하도록 스위칭 신호를 입력하였다. 또한 스위치의 도통저항과 회로에 포함된 기생 저항성분으로 인한 전력 손실을 고려하여 PSIM9.1로 모의실험 장치를 구성하였고 다음의 그림 2와 같다.

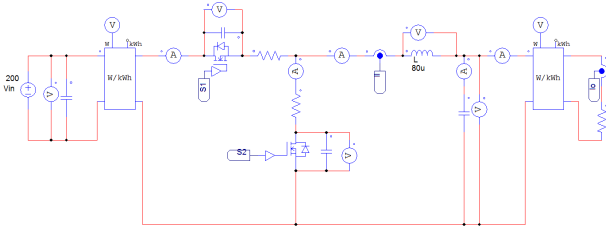


그림 2 동기 벽 컨버터 모의 실험 구성
Fig. 2 Simulation setup of Synchronous buck converter

모의 실험은 스위칭 주파수가 일정한 상태에서 출력전력이 250[W]에서 1000[W]가 되도록 부하를 변경시켰을 때의 효율(스위칭 주파수 31.25[kHz] 고정)과, 전술한 표 1에서 도출한 변경된 부하에 따른 스위칭 주파수를 31.25[kHz]에서 125[kHz]까지의 변화를 적용시켜 인덕터에 흐르는 전류의 최소치(I_{valley})가 항상 0이 되도록 제어하였을 때의 효율을 각각 비교해 보았다. 아래의 표 2는 모의실험에서 사용한 제정수를 나타내었다.

표 2 모의실험 제정수
Table 2 Control value of Simulation

구분	값
V_{in}	200 V
V_{out}	100 V
Power	250W ~ 1000 W
F_{sw}	31.25k ~ 125 kHz
Duty	0.5
L	80 μ H
$R_{ds,on}$	41 Ω

4. 모의 실험결과

그림 3은 위에서 선정된 스위칭 주파수와 제정수를 토대로 모의 실험을 수행하였을 때, 출력 전력에 따른 효율을 나타낸 것이다.

모의 실험 결과 기존의 스위칭 주파수(31.25[kHz])를 고정시킨 컨버터 동작의 효율은 출력전력 250[W]에서 효율 88.22[%]로 최저효율을, 출력전력 1000[W]에서 효율 96.39[%]로 최고효율을 보이며 250[W]에서 1000[W]까지 선형적인 효율증가를 보인다. 제안하는 CRM제어를 적용하였을 경우 출력전력이 250[W]에서부터 350[W]까지의 효율은 기존의 컨버터 동작의 효율보다 0.1[%]에서 0.5[%]정도 개선됨을 보인다. 이후 출력전력 400[W]부터 950[W]까지는 CRM 제어를 통해 상보적으로 동작하는 스위치에서 ZVS가 잘 일어나게 되어 효율이 최소 3[%]에서 최대 5[%]정도 증가하였음을 알 수 있다. 또한, 출력전력 1000[W]에서는 표 1에서 구한 스위칭 주파수와 기존의

컨버터 동작에 사용한 스위칭 주파수가 동일하므로 효율의 변화는 없다.

모의실험에서는 CRM제어로 인하여 발생하는 인덕터 코어의 손실은 제외 하였으나, 코어의 손실을 고려하여 효율을 비교해 보아도 출력전력에 따른 효율곡선은 유사할 것으로 판단된다.

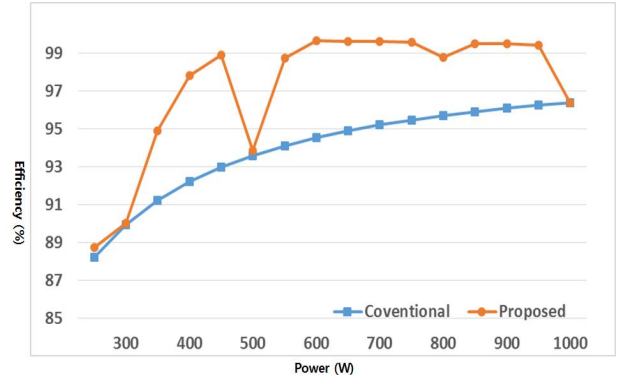


그림 3 전력에 따른 시뮬레이션 효율
Fig. 3 Simulation efficiency for output power

5. 결론

본 논문은 ESS의 배터리 DC DC컨버터의 고효율화를 위하여 입력전압 200[V], 출력전압 100[V] 조건에서 전력에 따른 스위칭 주파수를 변경하여한 동기 벽 컨버터의 인덕터 전류의 CRM 제어를 적용하여 효율을 모의실험을 통하여 비교하여 보았다 그 결과 기존의 고정 스위칭 주파수를 적용하였을 때보다 효율이 최소0.54[%] ~ 최대 5.13[%]정도 개선됨을 확인하였다.

본 논문에서는 고려한 스위치의 도통저항과 회로에 포함된 기생 저항성분만을 고려하였으나, 전력손실이 예상되는 부분인 CRM 제어로 인하여 인덕터 전류의 리플이 증가하게 된다. 그러므로 추후 인덕터 전류의 리플로 인해 발생하는 인덕터 코어 손실을 포함하여 실험을 실시하여 논문을 보완하도록 하겠다.

본 연구는 중소기업청의 융복합기술개발사업 이전기술과제의 일환으로 수행하였음. [S2136777]

참고 문헌

- [1] Jong Hu Park, "The zero Voltage Switching(ZVS) critical conduction mode (CRM) buck Converter With tapped inductor", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 20, No. 4, pp. 762 774, 2005, July.
- [2] Soto Sanchez, "A Cascade Multilevel Frequency Changing Converter for High Power Applications", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 60, No. 6, pp. 2118 2130, 2013, June.
- [3] Hyun Lark Do "Zero Voltage Switching Synchronous Buck Converter With Coupled Inductor", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 58, No. 8, pp. 3440 3447, 2011, August.