

3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터의 상제어 스위칭 기법

김지현, 정혜수, 정재현, 노의철, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

Phase Controlled Switching Method for 3-Phase Interleaved Bidirectional DC-DC Converter

JiHyun Kim, HYESOO JEONG, Jae Hun ung, Eui Cheol Nho, *Heung Geun Kim, **Tae Won Chun
Pukyong National Univ., *Kyungpook National Univ., **University of Ulsan

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터의 상제어 스위칭 기법을 제안하였다. 부하 변동에 따라 2상 또는 3상 인터리빙이 되도록 하여 소프트 스위칭은 물론 배터리 충방전 전류에 포함된 전류 리플의 크기도 최소화하는 효과가 있다. 3 [kW] 시스템에 대하여 전류 임계모드가 되도록 하는 인덕턴스 값을 유도하였으며 시뮬레이션을 통하여 제안한 방식의 타당성을 입증하였다.

그림 1은 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터의 회로도이다. V_{DC} 는 계통연계형 인버터의 DC link단 전압이며 400 [V]로 가정하였다. 시스템에 사용된 배터리 전압 V_B 의 변동범위는 200 ~ 267 [V]이다.

제안하는 시스템은 전류 임계모드로 동작하며 부하 전력은 스위칭 주파수를 이용하여 제어한다. 양방향 DC-DC 컨버터의 동작은 배터리가 충전할 때는 벡 컨버터로, 방전할 때는 부스트 컨버터로 동작한다.

1. 서론

3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터 토폴로지는 출력 전류의 리플이 작은 장점으로 인하여 배터리와 같은 에너지 저장 시스템에 적용하기 위한 활발한 연구가 수행되고 있다^{1,2)}.

본 논문은 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터의 전류 리플을 줄이기 위한 상제어 기법에 관한 것이다. 제안하는 3상 인터리브드 양방향 컨버터는 전류 임계 모드로 동작하며 부하의 크기에 따라 주파수가 변하여 시스템에서 발생하는 스위치 손실을 최소화 하였다. 또한 경부하 시 운전되는 상의 개수를 줄여 출력 전류 리플의 크기를 최소화 하였고, 이를 통하여 전력 반도체 소자의 최대 스위칭 주파수에 따른 최소 부하의 크기를 확장할 수 있도록 하였다. 인터리브드 방식의 양방향 DC-DC 컨버터의 전류 리플의 크기에 대하여 분석하였으며 시뮬레이션을 통하여 제안하는 상제어 기법의 효율성을 입증 하였다.

2.2 전류 리플의 크기 분석

그림 2는 출력 전류 리플의 크기 분석을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 각 상전류를 나타내었다. 소프트 스위칭을 위한 공진 구간이 스위칭 주기와 비교하여 매우 작다면 각 상의 전류는 삼각파로 가정할 수 있다.

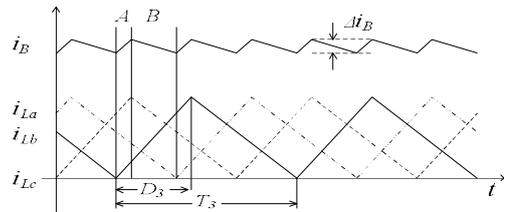


그림 2 3상 동작 시 인덕터 전류
Fig. 2 Inductor currents in 3-phase operation

리플의 크기 Δi_B 는 식 (1)을 통해 구할 수 있으며 3상으로 동작할 때 전류 리플의 크기는 배터리 전압 V_B 가 267 [V]인 경우 영(Zero)이 된다. 또한 배터리 전압이 감소할수록 리플의 크기가 커지는 것을 알 수 있다.

$$\Delta i_B = \frac{(3 \times V_B - V_{DC})}{L} \times (D_3 - \frac{1}{3}) T_s \quad (1)$$

그림 3은 동일한 시스템이 2상으로 동작하는 경우 각 상에 흐르는 전류 파형을 나타낸 것이다. 2상으로 동작 시 전류 리플의 크기는 식 (2)를 이용하여 구할 수 있으며 배터리 전압 V_B 가 200 [V]인 경우 영(Zero)이 됨을 알 수 있다.

2. 양방향 DC-DC 컨버터

2.1 시스템 구성 및 동작원리

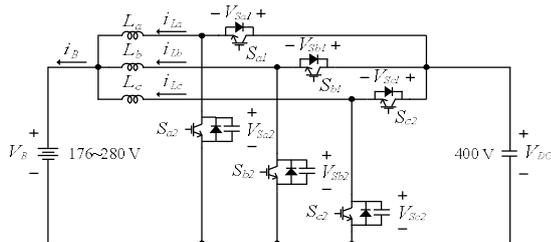


그림 1 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터 회로
Fig. 1 3-phase interleaved bidirectional DC-DC converter circuit

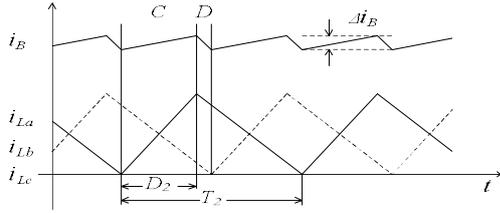


그림 3 2상 동작 시 인덕터 전류
Fig. 3 Inductor currents in 2-phase operation

$$\Delta i_B = \frac{(2 \times V_B - V_{DC})}{L} \times D_2 T_2 \quad (2)$$

2.3 상 전환 기법 적용 구간 분석

그림 4는 상 제어 기법을 적용할 수 있는 출력 전력 300 [W], 400 [W], 500 [W], 600 [W]에 대한 전류의 리플 크기를 배터리 전압변동에 대하여 나타낸 것이다. V_B 가 222 [V]인 지점을 기준으로 상 전환을 하게 되면 전류 리플을 줄일 수가 있는 것을 알 수 있다.

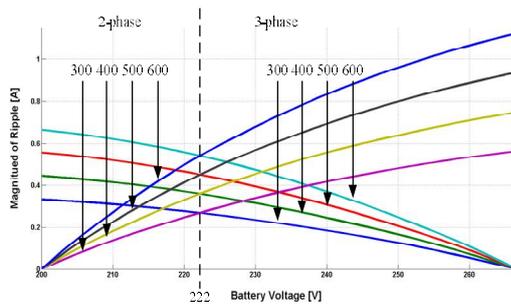


그림 4 3상과 2상 동작 시 배터리 전압에 대한 전류 리플의 크기
Fig. 4 Magnitude of current ripple in 3-phase and 2-phase operation versus battery voltage

2.4 경부하 시 인덕턴스 설계 및 시뮬레이션

그림 5는 시스템을 구성하는 전력반도체 소자의 스위칭 주파수를 20 [kHz]로 가정했을 때 출력 전력이 300 [W], 400 [W], 500 [W], 600 [W]인 경우에 대한 인덕턴스 값의 크기 변동을 배터리 전압에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 267 [V]를 기준으로 상에 관계없이 출력 전력이 낮아질수록 인덕턴스 값의 크기가 커지는 것을 알 수 있으며 2상으로 운전하는 경우에는 3상으로 운전하는 경우보다 인덕턴스 값이 낮음을 확인할 수 있다.

3상으로 운전시 600 [W]의 경우를 기준으로 설계할 수 있는 L값은 2.96 [mH]로 그래프의 변곡점에 해당한다.

$$i_{peak} = \frac{V_B}{L} \times DT \quad (3)$$

식 (3)을 통해 3상으로 운전하는 경우의 전류 최대값을 알 수 있으며 이 값으로 전류의 평균값 또한 알 수 있다. 최종적으로 3상에서의 인덕턴스 값을 이용하여 2상으로 동작하는 경우 V_B 가 200 [V]일 때 최소 338 [W]의 경부하로 운전할 수 있다. 그림 6과 7은 각 시스템의 시뮬레이션에 대한 결과이다.

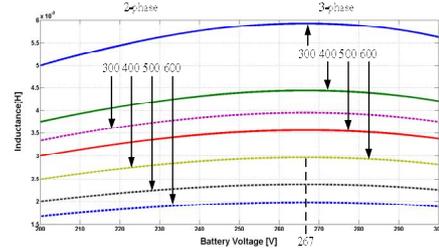


그림 5 3상과 2상 동작 시 배터리 전압에 대한 인덕턴스의 크기
Fig. 5 Inductance value in 3-phase and 2-phase operation versus battery voltage

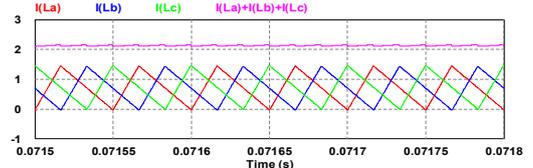


그림 6 3상 동작 시 각 상의 전류와 부하 전류
Fig. 6 Phase currents and battery current in 3-phase operation mode

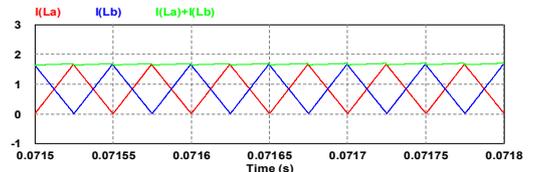


그림 7 2상 동작 시 각 상의 전류와 부하 전류
Fig. 7 Phase currents and battery current in 2-phase operation mode

3. 결론

본 논문에서는 양방향 DC DC 컨버터의 출력 전력에 대하여 시스템의 전력반도체 소자의 최대 스위칭 주파수를 기준으로 각 상이 전류 입계모드로 동작할 때의 인덕턴스 값을 설계하였고 상 전환 스위칭 기법이 적용될 때의 경부하 구간 범위를 분석하였다. 전력 반도체 소자의 최대 스위칭 주파수를 20 [kHz], 최소 부하는 600 [W]인 시스템에 대한 설계를 하였으며 설계값은 2.96 [mH]이다. 설계한 시스템은 V_B 가 200 [V]인 경우 2상으로 동작할 때 338 [W]의 경부하 운전이 가능함을 시뮬레이션을 이용하여 확인하였다.

상 전환 스위칭 기법이 적용된 3상 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터는 다양한 전력변환장치의 고효율화에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Junhong Zhang, Jih Sheng Lai, Rae young Kim, Wensong Yu, "High power density design of a soft switching high power bidirectional DC DC converter," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 22, No. 4, pp. 1145-1153, 2007, Jul.
- [2] Zhan Wang, Hui Li, "A soft switching three phase current fed bidirectional dc dc converter with high efficiency over a wide input voltage range," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 27, No. 2, pp. 669-684, 2012, Feb.