'94 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1994, 7, 21~ 23)

Bus 전압 레귤레이션 을 위한 쌍방향 Buck-Boost DC-DC컨버터

°고태일, 김양모
충남대학교 전기공학과

Bi-directional Buck-Boost DC-DC Converter for Bus Voltage Regulation

Tae Ill Ko and Yang Mo Kim
Chung - Nam National University

Abstract

In this paper, bi-directional buck-boost DC-DC converter for bus regulation system is presented. This converter which has one buck and one boost topology achieves bi-directional power flow using a common power inductor and alternative power switches. By connecting the battery to bus line , it can be regulated to bus voltage and charged the battery alternatively. And as an application, a mode controller is adopted to the converter.

1. 서론

전력용 인덕터를 공통으로 사용하고 있는 쌍방향 DC-DC Buck-Boost컨버터는 일반적인 단방향성 DC-DC컨버터에 비하여 소자이용도 및 전기적인 에너지 흐름의 양방향성으로 인하여 높은 효율성을 지니고 있기 때문에 ,Battery 충-방전을 이용한 UPS 및 Solar Array를 이용한 버스전압 레귤레이션용 컨버터 등에 적절히 사용될 수 있다. 승압 및 강압동작을 필요로하는 각각의 출력단은 부하변동 및 에너지원의 변동에 따라서 적절한 제어를 요구하며, 일반적인 PWM 제어방식에 의하여 일정수준의 전압 혹은 전류량을 유지시킬 수 있으나 단방향 범위를 벗어나는 상황에 있어서는 모드변환을 이용한 제어방식을 사용하여야 한다.

본 논문에서는 Battery 충.방전을 이용한 모선전압 레귤레이션에 효율적으로 사용될 수 있는 쌍방향 Buck-Boost DC-DC컨버터의 동작에 대하여 알아보고, 모선단에 연결된 부하 또는 에너지원의 변화에 따라서 동작하는 모드변환 제어방식 및 전력용 스위칭 소자로서 고속에 적합한 POWER MOSFET를 사용하였을 경우 모드변환시에 발생하는 스위칭 스트레스 대처방안에 대하여 알아보았다.

2. 쌍방향 DC-DC컨버터의 구성

스위칭 방식의 DC-DC 컨버터의 동작특성에 있어서 능동스위치 및 수동스위치의 위치를 전류방향과 함께 재배열 할 경우 전력수수의 방향을 반전시킬 수 있으며,이러한 DC-DC 컨버터의 특성은 컨버터의 스위칭동작 특성에 따라 회로소자 쌍대성을 이용하여 해석이 가능하다. 입력과 출력을 기준으로 컨버터의 구성요소는 완전한 쌍대소자로서 재배열 될 수 있으며, 서로 쌍대적인 소자로 구성된 컨버터의 회로 토폴로지를 이용하여 스위치 및 다이오드를 병렬로 재배열 할 경우 양방향 전력수수가 가능한 쌍방향 컨버터를 구성할 수 있다.[1]

그림 1의(a)에 나타낸 boost컨버터는 Vs1을 입력단으로 스위치 S1및 환류 다이오드 D1의 온-오프 동작으로 연속 인덕터전류에서 정의된 에너지를 부하단에 공급하며 입출력비는 스위칭 시비율로서 결정된다. 그림 1의(b)의 buck컨버터는 Vs2를 입력단으로 스위치 S2의 턴-온으로 인덕터에 에너지를 축적하여 스위치 턴-오프동작으로 다이오드 D2를 통하여 에너지를 방출하는 형태로 출력단의 전압을 시비율에 따라서 승압시키는 동작을 하게 된다. 그림 2는 에서는 단방향 특성의 컨버터를 구성하는 스위치 S1,S2 및 다이오드 D1,D2를 각각의 스위치와 역병렬로 구성할경우 양방향으로 전력수수가 가능한 쌍방향 컨버터를 나타내며, S1 및 D1은 boost 모드 ,S2 및 D2는 buck모드에서 동작하게 된다.

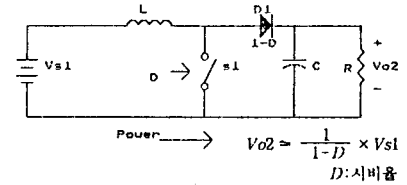


그림 1-(a). Boost 컨버터 토폴로지

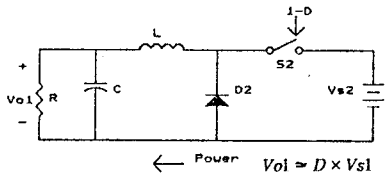


그림 1-(b). Buck 컨버터 토폴로지

그림 1. 쌍대성 특성의 Boost,Buck 컨버터.

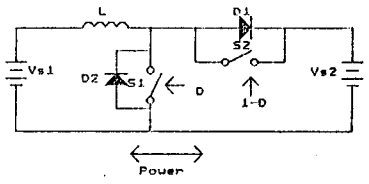


그림 2. 쌍방향 컨버터 토폴로지

3. 제어회로 및 스위칭방식

각각의 동작모드에 해당하는 연속 인덕터전류를 정의할 경우 입,출력 전압 및 전류의 비율은 스위치 온-오프에 관계된 시비율을 파라메타로 결정되며,이는 PWM제어방식에 의한 스위치 온-오프 동작에 의존한다.[3]

그림 3에 나타낸 블록선도는 쌍방향 컨버터가 효율적으로 적용될 수 있는 Battery 충,방전용 컨버터를 이용한 모선전압 레귤레이션용 회로구성을 나타내고 있으며,전원부의 션트레귤레이터는 모선전압의 과상승및 충전시 과전류억제를 위하여 구성되어 있다. Battery 전원과 연결된 충,방전 장치는 쌍방향 DC-DC 스위칭레귤레이터를 이용하여 모선전압유지 및 Battery 충전을 가능하게하며, 이는 충전 및 방전 동작에 따라서 각각 구성되던 컨버터 회로망에 비하여 효율적이며, 회로구성이 간단한 잇점 등이 있다.

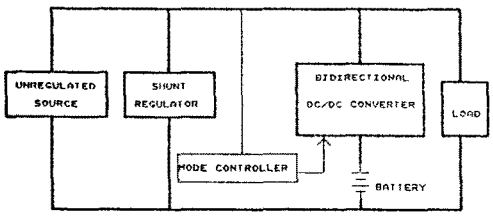
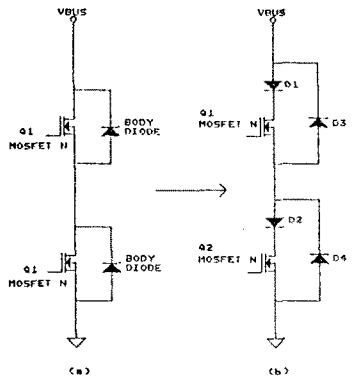


그림 3. 모선전압 레귤레이션 블록선도

실제 회로에 있어서 스위칭 소자는 고속 스위칭에 적합한 POWER MOSFET를 사용하였으며, 그림 4에서는 쌍방향 Buck-Boost컨버터의 스위치 형태를 나타내었다. (a)는 POWER MOSFET구조상 나타내는 Body-diode의 이용 가능성을 제시하고 있으나, 과도한 역회복시간 및 소수캐리어 동작에 의한 손실로 인하여 실제회로에서는 그림 (b)에서와 같은 body-diode를 배제한 회로를 사용하여야 한다. 이는 Boost스위칭 동작으로부터 Buck 스위칭 동작으로의 변환 또는 이와 반대인때, MOSFET Body-diode의 동작을 방지하기 위한 직렬 및 역병렬 고속 다이오드의 배열형태를 나타내고 있다.



(a) Body-diode가 동작할 때 (b) Body-diode의 영향을 억제할 때

그림 4. MOSFET의 스윗치 형태

그림 5및 그림 6은 회로구성요소 및 제어회로를 나타내었으며, 모드 제어기는 모선전압을 기준으로 하여 각각의 동작모드를 결정한다. 모선단과 연결된 션트의 동작과 함께 Battery는 충전이 가능하도록 피드백회로를 구성하여 안정한 충전을 꾀하였다. 또한, 모드변환과정에서 발생할 수 있는 스위치 동시동작은 스위치를 파괴시킬 수 있으며 다이오드의 역회복기간 동안의 스위치동작은 과전류를 발생시키기 때문에 스위칭 Dead-time(양스위치의 동시 턴-오프시간)은 다이오드의 최대 역회복시간보다 크게 결정될 수 있도록 각 스위치에 인가되는 Gate-펄스를 온-오프하는 방식과 함께 일정한 시간지연을 이용한 제어를 요구한다. 모드제어기에 의하여 동작하는 지연 스위치는 비교기에 인가되는 제어신호를 온-오프하여 급격한 부하변화에 대하여도 안정한 모드변환 및 충-방전동작을 할수 있도록 구성하였다.

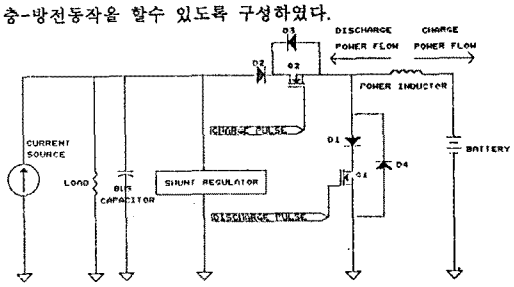


그림 5. 모선단과 연결된 쌍방향컨버터의 구성

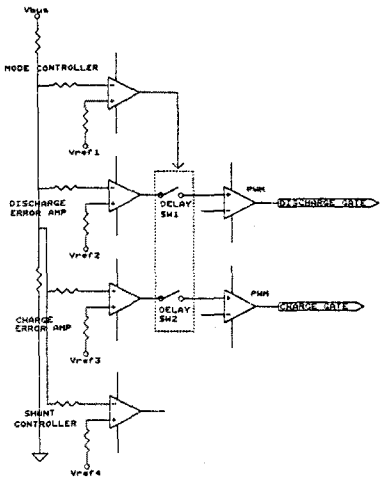


그림 6. 제어회로 및 모드 컨트롤러

그림 7에서는 모드 제어기에 의하여 동작하는 선-오프 방식의 회로를 나타내었다.

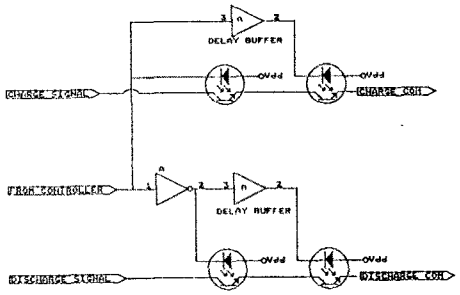


그림 7. 선-오프 방식 딜레이 스위치

한편, 그림 8은 모드제어기에 의하여 결정되는 동작모드를 보이고 있으며, 모선전압의 Dead-band를 기준으로 양방향 컨버터는 충전 및 방전모드를 선택하게 된다. 또한 션트레귤레이터는 모선전압의 과상승을 억제하며, 충전전류는 션트동작과 함께 정전류 충전이 가능하다.

스위칭 방식에 있어서 각모드에서 결정되는 입출력식은 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

(1) $V(discharge) \simeq \frac{V(batt)}{1-D}$

(2) $I(charge) \simeq \frac{I(bus)}{D}$

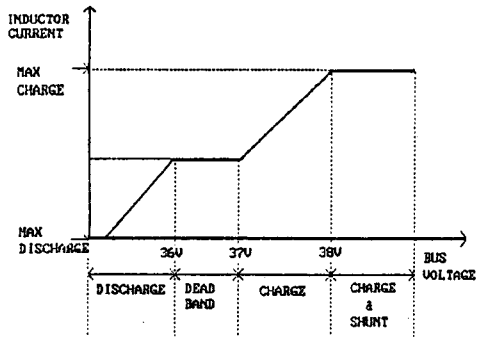


그림 8. 모드변환에 따른 모선전압 및 충전전류

4. 시뮬레이션 및 실험

4.1 회로구성

쌍방향 컨버터의 전력인덕터는 각 동작모드에 따른 불연속을 제거하기 위하여 동작모드에 따른 최대 용량을 선정하여야하기 때문에 변환된 모드에 있어서는 과용량 상태로 동작되는 점 및 스트레스를 고려하여 240W 급, 스위칭 주파수 25[kHz]에대한 회로정수계산 및 소자를 선정하여 보았다.

방전전압	36[V]
충전 최대전류	6[A]
스위칭 소자	POWER MOSFET IRF 450#2
전력용 인덕터	용량:266uH
캐패시터	용량: 1000u
다이오드	MBR 340#4
Battery	24[V]
부 하	전자로드:6[Ω]
공급전류변화	12[A] ↔ 4[A]

PSPICE를 이용한 회로 시뮬레이션을 위한 모델링에 있어서 모선전원은 그림 5에서와 같이 전압제어가 가능한 전류원으로 구성되어 있으며, 모선단에는 펄터 캐패시터를 병렬로 연결한 형태로 구성하였다. 또한 Battery는 전류 변화가 용이한 전압원으로 구성하여 모델링 하였다.

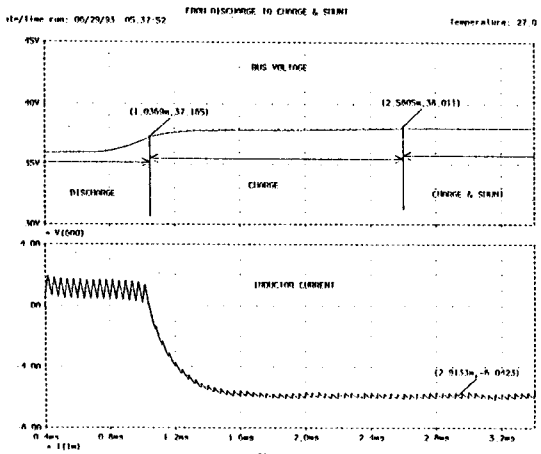


그림.9-a 방전→충전으로의 변환파형

4.2 PSPICE 시뮬레이션 파형 및 실험결과

그림 9-a은 방전동작으로부터 서서히 변동하는 부하에 대하여 모드변동에 대한 Bus 전압과 인덕터전류를 나타내고 있으며, 각 모드에 따른 충전 및 방전 동작을 보이고 있다. 그림 9-b에의 충전 → 방전으로의 변환과정에서는 각 게이트에 인가되는 선-오프 방식의 인덕터 전류 및 펄스신호를 나타내고 있다. 결국 션트와 함께 쌍방향 컨버터는 Battery 충방전 동작을 가능하게 하며, 동시에 모선전압을 레귤레이션 하고 있음을 시뮬레이션으로 예측할 수 있었다. 또한 궤환회로를 사용한 실제회로에 부하변화에 대하여 출력전압은 일정 레귤레시션 범위로 동작함을 확인 하였으며, 모드변환시에는 10[u]의 Dead time으로 스위치의 안정한 동작을 얻을 수 있었다.

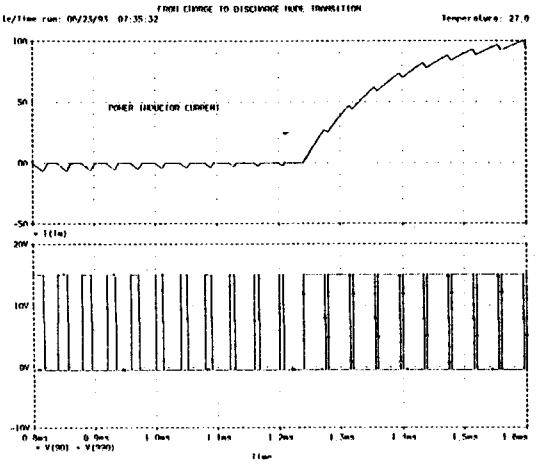


그림.9-b 충전→방전으로의 변환파형

5. 결론

본 논문에서는 Battery 충,방전을 이용한 모선전압 레귤레이션회로에 전력인덕터를 공통으로 사용한 모드변환 방식의 쌍방향 Buck-Boost DC-DC컨버터를 사용하여 충,방전시에 각각 사용하던 단방향성 DC-DC 컨버터에 비하여 효율적인 소자 이용도 및 회로의 간소화를 피하여 보았으며, Battery의 방전작용에 의한 모선전압의 레귤레이션 및 Battery의 충전작용에 대하여 알아 보았다. 이러한 쌍방향 컨버터는 UPS 및 부하변화가 비교적 안정한 인공위성용 전력변환 장치에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음

<참 고 문 헌>

[1] R. P. Severns and G. E. Bloom, Mordern DC-to-DC Switch Mode Power Converter Circuits, VAN NOSTRAND REINHOLD Co. New York, 1985.

[2] A. I. PRESSMAN, Switching Power Supply Design McGraw-Hill, Inc. 1991.

[3] Mohan, Undeland, Robbins, Power Electronics John Wiley & Sons, Inc. 1989.

[4] A.R.Patil, S.J.Kim, B.H.Cho, and F.C.Lee "Modeling and Simulation of Space Platform Power System". IECEC, Vol-2, pp. 96-103, 1990

[5] 고태일,마근수,김양모 "다상 다중 boost컨버터에 있어서 상간영향의 상태평균에 의한 해석" 전자공학회하계종합학술대회논문집, pp. 625-628, 1993.7