

저궤도 인공위성을 위한 강압형 컨버터의 동작특성 해석

박희성, 차한주

한국항공우주연구원, 충남대학교

Operation Characteristic Analysis of Step-Down Converter for LEO Satellite

Hee Sung Park, HanJu Cha

Korea Aerospace Research Institute, Chungnam National University

ABSTRACT

저궤도 인공위성의 전력변환 시스템은 태양전지판에서 생성된 전력을 배터리와 전장품으로 구성된 비조절형 버스로 전압 강하하여 제공한다.

무게, 부피, EMI/EMC 특성에 제한적인 요구조건을 갖는 인공위성의 응용분야에 적용하기 위하여 설계된 강압형 DC/DC 컨버터는 기존의 벡 컨버터와 유사한 동작특성을 보이지만 인덕터를 분리함으로써 입력단에도 연속적인 전류특성을 보이며 두 개로 분리된 인덕터는 부피와 무게에서 이점을 갖추고 있다.

본 논문에서는 연속적인 입출력 전류 특성을 갖는 강압형 컨버터의 동작특성에 대하여 기술한다.

1. 서론

인공위성 전력 시스템의 전력 변환 컨버터는 태양전지판의 전력 생산을 최대화 하며 안정적으로 버스 시스템에 전력을 공급하는 역할을 수행한다.

최근의 인공위성은 고정밀의 광학/적외선 영상 촬영을 요구하며 이에 따라 전력 변환 장치도 보다 큰 전력의 변환과 양질의 전력을 요구한다. 하지만 인공위성에서는 무게 및 부피가 발사체의 선정에 많은 영향을 미치므로, 시스템에서 요구하는 사항은 서로 상반되는 면이 있다. 이러한 요구조건을 만족하기 위해서는 고효율화 및 병렬운전을 통한 경량화와 노이즈 저감을 위한 새로운 토폴로지의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 저궤도 인공위성에 적용되는 비절연/비조절형 강압식 컨버터를 제안하며 추가적인 입력 필터가 필요 없는 4차 컨버터를 통하여 입력전류에서도 연속적인 전류 특성을 갖는 전력 변환 장치에 대하여 기술하며 이의 동작 특성에 대하여 논한다.

2. 비절연/비조절형 강압형 컨버터

2.1 입출력 요구조건

인공위성의 전력 변환 장치는 입력 전력을 태양전지판으로부터 공급받는다. 태양전지판은 위성의 궤도 및 운영에 따라 일사량과 온도의 영향을 많이 받는다. 이러한 변화되는 전력 생산 환경에서 최대전력을 생산하고 필요에 따라 전력 생산을

감소시킬수 있어야 한다. 본 논문에서 연구되는 태양전지판은 EOL(End Of Life)에서 Voc(Open Circuit Voltage)가 약 60V이다.

전력 변환 장치의 출력에는 Li Ion 배터리와 전장품이 부하로써 사용된다. 따라서 출력은 배터리의 전압에 따라 움직이는 비조절형 버스이다. 배터리는 위성 운영에서 최소 약 40V가 되며 완전 충전시 48.6V가 된다. 따라서 만충전이 아닌 구간에서는 태양전지판에서 최대 전력을 생산하기 위한 최대전력점 추적 기법이 적용되며, 버스전압이 48.6V에 도달하면 CV(Constant Voltage) 모드로 동작하여야 한다.

2.2 Converter의 구조

제안된 비절연/비조절형 컨버터는 그림 1과 같다.

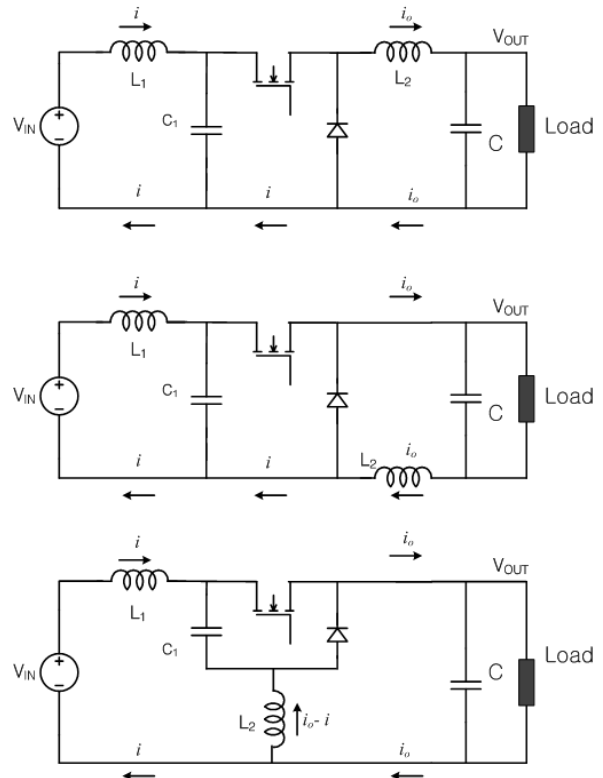


그림 1 입력필터를 갖는 Buck converter의 변환
Fig. 1 Conversion of the buck converter with an input filter

기존의 buck 컨버터에 입력 필터가 적용된 형태와 유사함을 볼 수 있다. 두 번째 그림에서 buck 컨버터의 인덕터 L_2 가 부방향에 위치한 것은 컨버터의 특성에 영향을 미치지 않는다. 이렇게 이동된 L_2 는 세 번째 그림과 같이 이동시키게 되는데 이때에도 컨버터의 단자 전압 및 전류에는 영향을 미치지 않으며 단지 입출력 전류가 연속적으로 삼각과 형태의 전류를 나타내도록 전류 리플에 영향을 미치게 된다.

2.3 Converter의 동작특성

제안된 컨버터의 동작 특성 해석을 위하여 스위치의 on시 회로와 off시 회로의 동작에 대하여 그림 2에 나타낸다. 첫 번째 그림은 스위치가 on으로 동작시 모습이다. 이때 다이오드는 동작하지 않게 된다. 두 번째 그림은 스위치 off시 회로의 모습으로 이때 다이오드는 순방향으로 동작하여 단락으로 나타내진다.

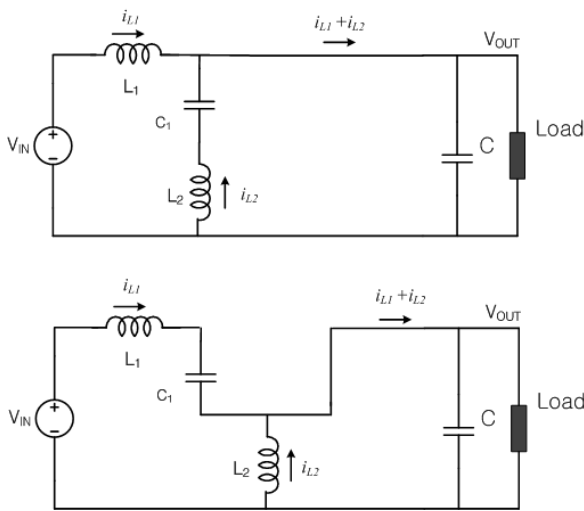


그림 2 스위치 모드에 따른 회로의 동작
Fig. 2 Circuit operations at each switch mode

상기 그림 2에서 인덕터 L_1 , L_2 에 대하여 volt·sec 평형조건을 고려하여 기술하면 다음과 같다.

가. L_1 에서의 평형조건

$$(V_{in} - V_{out})DT_s = -(V_{in} - V_{C_1} - V_{out})(1-D)T_s \quad (1)$$

나. L_2 에서의 평형조건

$$-(V_{out} - V_{C_1})DT_s = V_{out}(1-D)T_s \quad (2)$$

(1)과 (2)를 V_{C_1} 으로 정리하면,

$$\therefore V_{out} = DV_{in} \quad (3)$$

(3)과 같이 입출력 전압 관계가 나타난다. 출력 전압은 입력 전압의 듀티비에 비례하게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 기존의 buck 컨버터와 동일한 입출력 전압특성을 나타냄으로 제안된 컨버터를 위하여 기존의 제어기 사용이 가능하다는 이점이 있다.

제안된 컨버터의 입출력 전류 리플을 얻고자 아래 식 (4), (5)와 같이 인덕터 L_1 , L_2 의 전류 리플을 구하였다.

$$\Delta i_{L_1} = \frac{1}{L_1}(V_{in} - V_{out}) \cdot D \cdot T_s \quad (4)$$

$$\Delta i_{L_2} = \frac{1}{L_2}(V_{in} - V_{out}) \cdot D \cdot T_s \quad (5)$$

식에서와 같이 두 개의 인덕터는 동일한 크기의 리플 전류를 갖는다. 그림 3은 임의의 듀티에서 인덕터 전류의 시뮬레이션 결과이다.

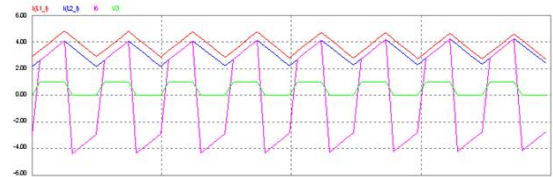


그림 3 인덕터 전류
Fig. 3 Inductor current

입력 전류 리플은 L_1 의 전류와 같으며, 출력 전류 리플은 인덕터 L_1 과 L_2 의 합성 전류로써 (4)와 (5)의 합인 (6)과 같이 표현된다.

$$\Delta i_{out} = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}\right)(V_{in} - V_{out}) \cdot D \cdot T_s \quad (6)$$

상기 전류의 리플에서 보는바와 같이 입출력 전류가 0으로 되지 않는다. 이는 입출력 전류 모두에서 연속적인 전류가 흐르게 되어 태양전지판에서 전력을 생산하는데 이점이 있으며 노이즈에도 좋은 특성을 갖을 수 있음을 짐작할 수 있다.

3. 결론

본 논문은 태양전지판에서 전력을 생산하여 배터리와 전장품에 공급하기 위한 비절연/비조절형 컨버터를 제안하였으며 수식을 통하여 동작 특성에 관하여 기술하였다. 제시한 컨버터의 분리된 인덕터는 무게 및 부피에 민감한 응용분야에 적합하며 입력전류가 연속적으로 흐르는 특성은 태양전지판과 같은 입력 소스를 사용하는 응용분야와 노이즈에 취약한 분야에도 좋은 결과를 나타낼 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] Verachary Mummadi, "Fourth Order Buck Converter for Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Applications", ICSET 2008, pp. 295-299, 2008
- [2] Robert W. Erickson, Dragomir Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics", Springer, 2001
- [3] A. Carpel, H. Spruyt, J.C. Marinard, "A Versatile Zero Ripple Topology" Power Electronics Specialists Conference. Vol. 1, pp. 133-141, 1988