

비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터에 관한 연구

이근우, 안태영
청주대학교 전자공학과

A study on the dc-dc converter with asymmetrical input voltage

Geunwoo Lee, Taeyoung Ahn
Cheongju Univ. Dept. of Electronics Eng.,

ABSTRACT

본 논문에서는 새로운 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터를 제안하고 그 정상상태 해석과 실험결과를 보고한 것이다. 특히 제안된 컨버터는 반도체 스위치와 주요 소자를 이상적으로 가정하여 내부손실을 무시한 등가회로를 유도하였고 등가회로와 스위치의 상태에 따른 상태별 등가회로로부터 주요 소자에 대한 특성식을 나타내었으며 최종적으로는 컨버터의 정상상태 특성식을 유도하였다. 제안회로의 정상상태 해석결과 및 동작을 확인하기 위해서 35-60V 입력전압 범위, 48V 정격입력전압, 12V 출력전압, 60W급 시험회로를 구성하였다. 시험회로는 전 부하범위에서 안정된 동작을 하였으며 중부하에서 최대 91%의 전력변환효율을 나타내었다.

1. 서론

스위칭 전원장치는 고속의 스위칭 동작에 의해서 직류 입력 전압을 안정된 직류전원으로 변환시켜주는 장치이다. 최근에는 주요 전자기기의 전원공급용으로 소용량부터 대용량까지 사용되고 있으며 장치의 소형화를 위해서 전원장치도 함께 작은 사이즈를 요구하고 있는 실정이다. 스위칭 전원장치를 소형화 하기 위해서는 스위칭 주파수를 높여서 에너지 저장 소자의 물리적 사이즈를 줄이는 방법을 사용하고 있지만 스위칭 손실이 증가하여 방열판 사이즈가 증가하는 단점이 존재한다. 소프트 스위칭 기술은 높은 스위칭 주파수에서도 원리적으로는 스위칭 손실을 발생시키지 않기 때문에 고효율 전원장치의 설계에 중요한 선택 기준이 되고 있다. 한편 비절연형 DC-DC 컨버터의 회로방식 중에서 넓은 입력전압 범위에 대응하면서 소프트 스위칭 방식의 고효율 전력변환 회로가 절연형 컨버터에 비해 상대적으로 선택의 폭이 제한되었다.

본 논문에서는 새로운 형태의 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안회로는 두 개의 스위치가 소프트 스위칭하기 때문에 스위칭 손실이 저감되어 고효율 동작이 가능하고 시비율을 100%까지 이용할 수 있어서 보다 넓은 입력전압에 대응 할 수 있다는 장점이 있다. 제안된 컨버터의 정상상태 해석을 수행하기 위해서 반도체 스위치와 주요 소자를

이상적으로 가정하여 내부손실을 무시한 등가회로를 유도하고 등가회로와 스위치의 상태에 따른 상태별 등가회로로부터 주요 소자에 대한 특성식을 나타내었고 최종적으로는 컨버터의 정상상태 특성식을 유도하였다. 제안회로의 정상상태 해석결과 및 동작을 확인하기 위해서 35-60V 입력전압 범위, 48V 정격입력전압, 12V 출력전압, 60W급 시험회로를 구성하였다.

2. 새로운 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터

2.1 기본 회로 구성

그림 1에는 본 논문에서 제안하는 비대칭 입력형 DC-DC 컨버터의 기본회로가 나타나 있다. 그림에서 입력단에는 인덕터가 있으며 두 개의 스위치와 변압기가 직렬 구성되어 있다. 중앙의 인덕터와 직렬로 정류기를 구성하였으며, 인덕터와 커패시터로 필터를 구성하였고 출력과 연결되었다. 한편 대전류 출력 적용의 경우에는 다이오드 정류기 대신에 MOSFET 등을 사용한 동기정류기 구성도 가능하다. 입력전압과 직렬로 구성된 커패시터 C_1 은 가상 입력전압 기능을 수행하며, 정상상태에서는 정전압 기능을 수행하게 된다. 따라서 제안 컨버터는 두 개의 직렬 전압원에 의해서 동작하게 되며, 시비율 상태에 따라 커패시터의 정전압이 변화하게 되므로 안정된 회로동작이 가능하다.

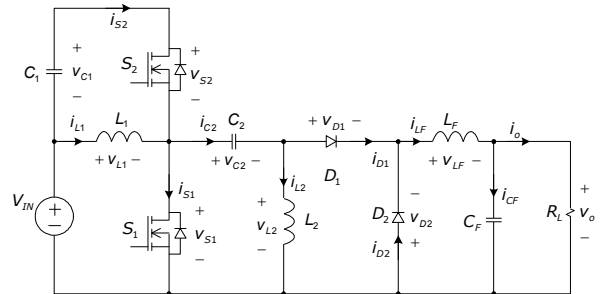


그림 1 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터의 기본회로
Fig. 1 Basic topology for the DC-DC converter with asymmetrical input voltage

2.2 정상상태 해석

그림 2에는 그림 1의 제안된 DC-DC 컨버터의 등가회로를 나타내었다. 등가회로의 변환에는 반도체 스위치가 이상적인 스위치로 동작한다고 가정하였으며 컨버터의 입력단에 있는 커

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

패시터 C_1 , C_2 의 커패시턴스가 커서 일정한 정전압이 유지되고 따라서 정전압으로 등가 하였다. 출력단에는 출력커패시터와 부하저항을 정상상태에서는 일정한 정전압으로 가정하였으며 기타 기생저항 등에 의해서 발생하는 내부 손실은 무시하였다.

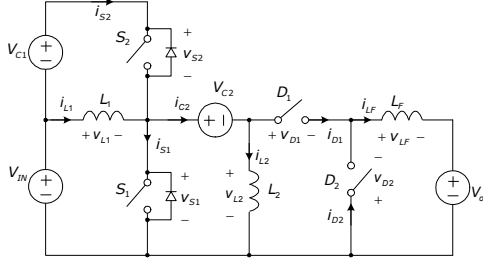


그림 2 제안한 컨버터의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit for the proposed converter

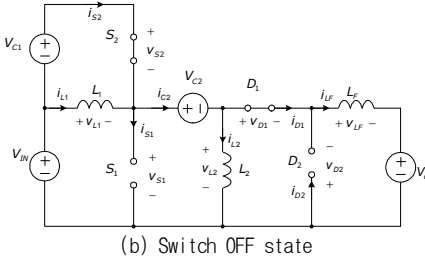
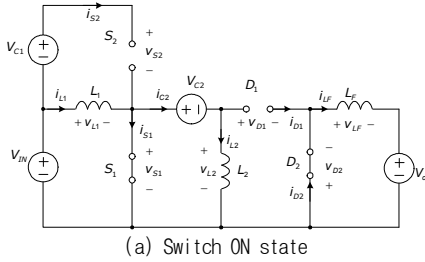


그림 3 제안한 컨버터의 상태별 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit for the steady state

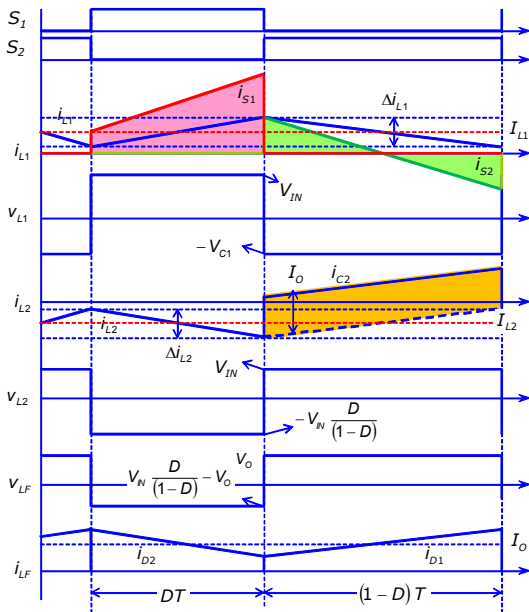


그림 4 제안한 컨버터의 이론 동작파형
Fig. 4 Theoretical waveform for the proposed converter

그림 2의 등가회로에서 두 개의 스위치는 서로 교차되지 않는 스위칭 동작을 한다고 가정하면 스위치의 상태에 따라 그림 3과 같은 상태별 등가회로를 유도할 수 있게 된다. 그림 (a)에는 스위치 S_1 이 턴 온 되었을 때이며 그림 (b)는 스위치 S_1 이 턴 오프 되었을 때의 등가회로이다. 그림 4는 정상상태에서 제안된 회로의 등가회로가 동작하는 경우 주요 소자에 대한 이론 동작파형을 나타낸 것이다. 각 상태별 동작은 위의 등가회로와 이론 동작파형으로부터 다음과 같이 설명된다.

먼저 스위치 S_1 이 턴 온 되면 인덕터 L_1 에는 입력전압이 유기되고 인덕터 L_2 에는 V_{C2} 에 의해서 역전압이 걸리고 다이오드 D_1 이 턴오프, 다이오드 D_2 가 턴온 되어 출력전류는 출력단 인덕터에 의해서 환류된다. 이 때 주요 소자에 대한 특성식은 다음과 같이 정리된다.

$$V_{S1} = 0 \quad (1)$$

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_{IN}}{L_1} DT_S \quad (2)$$

$$\Delta i_{L2} = -\frac{V_{C2}}{L_2} DT_S \quad (3)$$

$$\Delta i_{LF} = -\frac{V_O}{L_F} DT_S \quad (4)$$

$$V_{S2} = V_{IN} + V_{C1} \quad (5)$$

$$V_{D1} = -V_{C2} \quad (6)$$

다음 스위치 S_1 이 턴 오프 되면 인덕터 L_1 에는 전압 V_{C1} 이 유기되고 인덕터 L_2 에는 정전압이 걸리고 다이오드 D_1 이 턴온, 다이오드 D_2 가 턴오프 되어 출력단과 연결된다. 이 때 주요 소자에 대한 특성식은 다음과 같이 정리된다.

$$\Delta i_{L1} = -\frac{V_{C1}}{L_1} (1-D) T_S \quad (7)$$

$$\Delta i_{L2} = \frac{(V_{IN} + V_{C1} - V_{C2})}{L_2} (1-D) T_S \quad (8)$$

$$V_{LF} = -V_O \quad (9)$$

$$\Delta i_{LF} = \frac{(V_{IN} + V_{C1} - V_{C2} - V_O)}{L_F} (1-D) T_S \quad (10)$$

$$V_{D1} = 0 \quad (11)$$

$$V_{D2} = -V_{L2} \quad (12)$$

$$V_{S2} = 0 \quad (13)$$

정상상태에서의 입출력 전압비는 등가회로와 동작파형에서 출력단의 인덕터 전압의 전압-시간 평균값 정리에 의해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{V_O}{L_F} DT_S = \frac{(V_{IN} + V_{C1} - V_{C2} - V_O)}{L_F} (1-D) T_S \quad (14)$$

식 (14)를 정리하면 다음과 같이 정상상태의 입출력 전압비 M 과 기타 소자의 정상상태 값을 구할 수 있다.

$$M = \frac{V_O}{V_{IN}} = D \quad (15)$$

$$V_{C1} = V_{IN} \frac{D}{(1-D)} \quad (16)$$

$$V_{C2} = V_{IN} \quad (17)$$

식 (15)로부터 입력전압비는 시비율에 비례한다는 것을 알 수 있다. 또한 주스위치의 전류가 턴오프 직전에 음의 값으로 흐르고 있었기 때문에 턴 오프 되면 영전압 스위칭과 소프트 스위칭이 가능하고 스위칭 손실이 저감되면서 고효율 전력 변환이 기대된다.

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터의 정상상태 해석결과 및 동작을 확인하기 위해서 최소35V 최대 60V 입력전압 범위, 48V 정격입력전압, 12V 출력전압, 60W급 시험회로를 구성하였다. 시험회로에서 인덕터 L_1 은 950 μ H, 인덕터 L_2 는 650 μ H, 인덕터 L_f 는 430 μ H, 커패시터 C_{L2} 는 1 μ F/450V, 스위치 S 는 IRF640을 사용하였으며 스위칭 주파수는 약 71.4kHz이다. 그림 5는 시험회로가 정상상태에서 동작하는 경우 부하전류 변화에 따른 주요 파형을 나타낸 것이다. 파형의 위에서부터 스위치 S_1 의 전압파형, 인덕터 L_2 의 전압파형, 스위치 S_1 의 전류파형, 커패시터 C_2 의 전류파형을 각각 나타내고 있다. 각 파형에서 시험회로는 전부하범위 내에서 안정된 동작을 하고 있으며, 앞 절에서 설명된 정상상태 해석결과와 비교적 일치하고 있음을 알 수 있다. 그림 6은 시험회로의 전력변환효율을 측정된 그래프이며, 부하전류가 약 1.5A일 때 최대 91%의 효율을 나타내며 최대 부하에서도 88% 이상의 효율을 측정할 수 있었다.

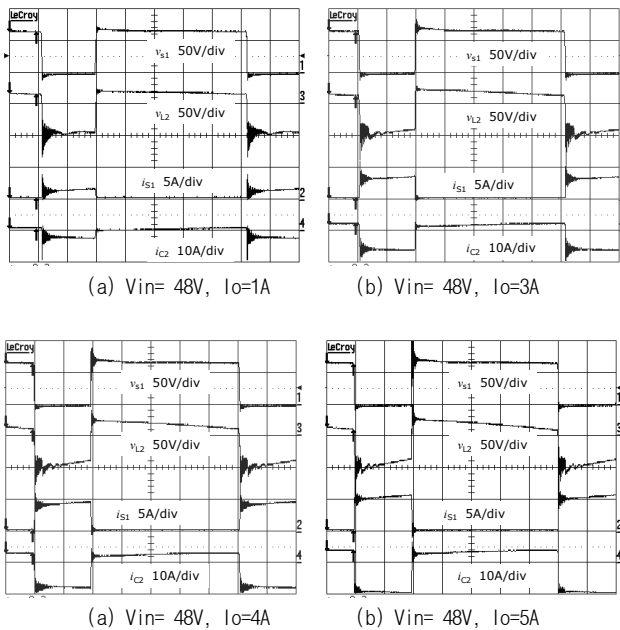


그림 5 제안한 컨버터의 실험파형
Fig. 5 Experimental waveform for the proposed converter

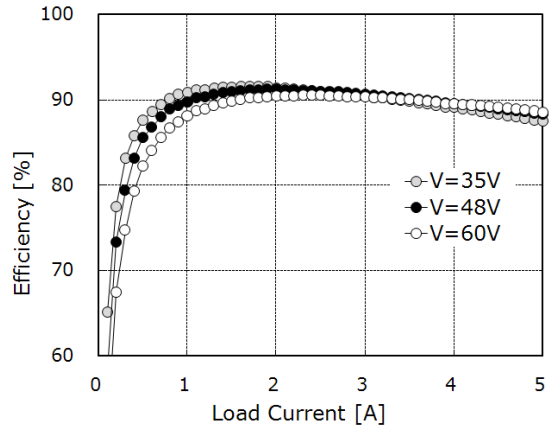


그림 6 제안한 컨버터의 전력변환 효율
Fig. 6 Power conversion efficiency for the proposed converter

4. 결론

본 논문에서는 새로운 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터를 제안하고 그 정상상태 해석과 실험결과를 보고한 것이다. 특히 제안된 컨버터는 반도체 스위치와 주요 소자를 이상적으로 가정하여 내부손실을 무시한 등가회로를 유도하였고 등가회로로부터 스위치의 상태에 따른 상태별 등가회로와 주요 소자에 대한 특성식을 나타내었으며 최종적으로는 컨버터의 정상상태 특성식을 유도하였다. 해석결과 제안 컨버터의 동작 시비율은 원리적으로 100%까지 사용 가능하기 때문에 넓은 입력전압 범위에 적용 가능하며, 주스위치의 전류가 턴오프 직전에 음의 값으로 흐르고 있었기 때문에 턴 오프 되면 영전압 스위칭과 소프트 스위칭이 가능하고 스위칭 손실이 저감되면서 고효율 전력 변환이 기대 된다는 것을 밝혔다.

본 논문에서 제안한 비대칭 입력전압형 DC-DC 컨버터의 정상상태 해석결과 및 정상동작을 확인하기 위해서 최소35V 최대 60V의 입력전압 범위와 48V 정격입력전압, 12V 출력전압, 60W급 출력의 시험회로를 구성하였다. 시험결과 제안회로는 전 부하범위에서 안정된 동작을 하였으며 중부하에서 최대 91%의 전력변환효율을 나타내며 최대 부하에서도 88% 이상의 효율을 측정할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Zhihua Yang, Sheng Ye, Yanfei Liu, "A novel non isolated half bridge DC-DC converter", Volume 1, Page301 - 307 APEC.2005.
- [2] Batarseh, M., Xiangcheng Wang, Batarseh, I., "Non-isolated Half Bridge Buck Based Converter for VRM Application", Page 2393 - 2398 PESC.2007.
- [3] Haruo Watanabe, Hirofumi Matsuo, "Design oriented analysis of a novel soft switching DC-DC converter with 2V/20A DC output ", IEEE PESC, 2001, pp. 884-889.
- [4] Xuejun Ma, HongXia Wu, Xiumei Yue, "PWM and phase-shifted control method for isolated asymmetric half- bridge bi-directional converter", Page(s):3665 - 3670 PESC.2008.