

단일 스위치 플라이백 컨버터에서 가변스위칭 주파수를 이용한 이중 출력전압 제어

김진웅, 하정익
서울대학교 전기정보공학부

Dual voltage regulations of single switch flyback converter using variable switching frequency

Jin woong Kim and Jung Ik Ha
School of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문에서는 가변 스위칭 주파수를 이용하여 단일스위치 이중출력 플라이백 컨버터의 전압조정특성을 향상시키는 방법을 제안한다. 기존의 이중 출력 컨버터에서는 부하의 변화, 누설 인덕턴스나 자화 인덕턴스의 영향 때문에 두 개의 출력전압을 개별적으로 제어하기가 힘들다. 제안된 방법에서는 컨버터의 2차측에 조정된 필터를 추가함으로써, 스위칭 소자의 듀티비가 일정하더라도 스위칭주파수에 따라 다른 전압을 출력하도록 하였다. 따라서 듀티비 제어뿐 아니라 스위칭 주파수 제어로도 출력전압을 제어할 수 있기 때문에 어떠한 상황에서도 각각의 출력을 제어하는 것이 가능하다. 추가적인 능동소자 없이 필터만을 추가 하여 기존 플라이백 컨버터의 특징인 간결한 제어알고리즘과 회로구성을 유지하였다. 또한 프로토타입의 이중출력 컨버터를 이용하여 제안된 방법의 성능 및 구현 가능성을 검증하였다.

1. 서 론

하나의 입력으로부터 두 개의 전압을 출력하는 이중출력 컨버터의 여러 토폴로지들 중 플라이백 컨버터를 이용한 방식은 구조가 간단하고 각 출력들의 전기적 절연이 가능하다는 장점이 있어 많이 사용되는 방식이다.^[1] 하지만 일반적으로 부하의 변화, 누설 인덕턴스, 자화 인덕턴스 등의 영향 등으로 인해서 두 개의 출력전압을 모두 제어하기는 어렵다. 그래서 주가 되는 출력만을 피드백 받아 제어하고 나머지 출력에 대해서는 크로스 레귤레이션으로 제어를 하는데 이 경우 부하의 변화에 따라서 피드백 받지 않는 출력은 제대로 제어가 안 되는 경우가 발생한다. 이를 해결하기 위해 각각의 출력을 피드백 받아서 가중치 만큼 피드백 하여 제어에 사용한 방식이 기존에 제안되었었다.^[2] 하지만 이 방식도 결국엔 한쪽에 몰려 있던 출력오차를 양쪽으로 나누는 개념이기 때문에 출력오차를 근본적으로 없애지는 못하였다.

본 논문에서는 모든 부하상황에서 두 출력 전압을 모두 제어하는 방법을 제안하고 있다. 이중 출력 플라이백 컨버터의 출력에 필터를 추가하여서 스위칭 듀티 제어 뿐만 아니라 스위칭 주파수 제어를 이용하여 출력전압을 제어 할 수 있도록 하였고 40W의 이중출력 플라이백 컨버터를 설계 하여 제안된 방법의 성능을 검증 하였다.

2. 제안된 방법

2.1 회로 구성

본 논문에서 제안된 회로의 구조는 그림 1에서와 같이 기존의 플라이백 컨버터구조에 각 출력 마다 필터를 추가한 것 과 같다. 이 필터들은 스위칭 주파수에 따라서 다른 특성을 나타내기 때문에 두 필터를 적절하게 설계해주면, 스위칭 주파수와 스위칭 듀티 조절로 각각의 출력전압을 제어 할 수 있다. 먼저 스위칭 주파수와 출력전압과의 관계를 확인하기 위해서 추가된 필터의 임피던스에 대한 식과 2차측 입력전압으로부터 출력전압의 전달함수에 대한 식을 각각 나타내었다.

$$Z_k = \frac{C_k L_2 s^3 + (L_1 + L_2)s}{C_k L_2 s^2 + 1} \quad (1)$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{C_o C_k L_1 L_2 s^4 + (C_k L_1 + C_o L_1 + C_o L_2)s^2 + 1} \quad (2)$$

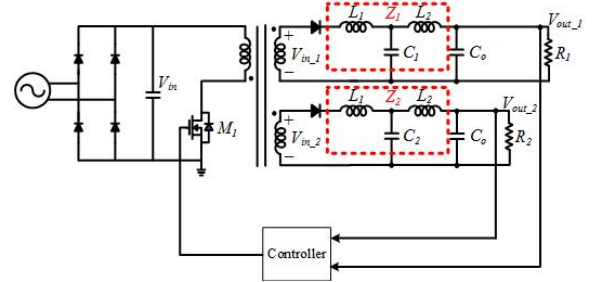


그림 1 제안된 회로구조

위식에서 Z_k 는 필터의 임피던스를, $V_{out,k}$ 와 $V_{in,k}$ 는 각각 k번째 출력전압과 2차측 입력전압을 나타내고 L_1 , L_2 , C_k 는 각각 필터의 인덕턴스와 캐패시턴스를 나타낸다. 출력 캐패시터 C_o 의 값이 다른 파라미터 값들에 비해 훨씬 크다고 가정하면 식 (1), (2)는 각각 아래의 주파수에서 공진점을 갖고 두 필터에 대해서 스위칭 주파수변화에 따른 변화를 나타내면 그림2와 같다.

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_k}} \quad (3)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C_k}} = \sqrt{1 + \frac{L_2}{L_1}} f_z \quad (4)$$

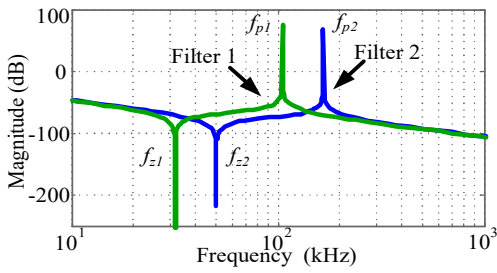


그림 2 제안된 필터의 특성

그림 2에서 스위칭 주파수가 f_{p1} 부근에서는 첫 번째 필터의 크기가 더 크고 f_{p2} 부근에서는 두 번째 필터의 크기가 더 크기 때문에 같은 스위칭 듀티비라고 하더라도 스위칭 주파수에 따라서 출력전압의 크기가 달라진다. 즉 어떠한 스위칭 주파수를 사용하느냐에 따라 두 출력의 전압을 조절 해줄 수 있기 때문에 스위칭 듀티제어와 더불어 스위칭 주파수제어를 출력전압에 제어 알고리즘에 사용할 수 있다.

2.2 제어 알고리즘

일반적으로 컨버터의 출력전압은 스위칭 듀티비로 조절하지만 제안된 방법에서는 추가된 필터에 의해서 출력전압이 스위칭 주파수에 따라서 변하기 때문에 스위칭 듀티비 뿐만 아니라 스위칭 주파수변화에도 출력전압을 조절할 수 있다. 따라서 두 출력의 부하가 모두 변하는 상황에서도 각 출력전압을 개별적으로 제어하는 것이 가능하다. 하지만 스위칭 듀티비가 정해져 있는 상황에서 직접적으로 스위칭 주파수를 변경하는 것은 힘들기 때문에 제안된 방법에서는 턴 온 타임과 턴 오프 타임을 개별적으로 결정해 줌으로써 스위칭 주파수를 변경하도록 하였다. 그림 3의 블록도에 나타냈듯이 두 개의 출력을 각각 측정하여 받아서 하나는 주파수 제어기에 피드백하여 턴오프 시간을 결정하고 나머지 하나는 듀티 제어기에 피드백 하여 턴 온 시간을 결정 하도록 하였다. 따라서 스위칭 주파수는 턴 온 시간지령과 턴오프 시간지령의 합으로 결정된다. 여기서 각 제어기는 PI제어기로 구성하였고 빠른 응답을 위하여 듀티 제어기의 대역폭을 더 크게 하였다.

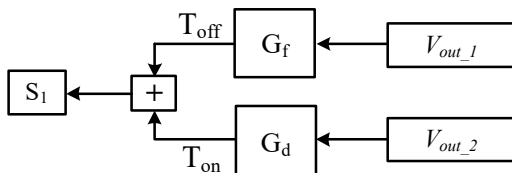


그림 3 제안된 방법의 제어 블록 다이어그램

3. 시뮬레이션 결과

제안된 회로를 검증하기 위해 40W(15V/2A, 5V/2A)의 이중 출력 플라이백 컨버터를 다음과 같이 설계하였다. 제안된 필터의 L_1 , L_2 값은 각각 1 μ H와 5 μ H이고, 필터 캐패시턴스의 값은 첫 번째 출력의 캐패시턴스를 2 μ F 그리고 두 번째 출력의 캐패시턴스를 10 μ F로 설계 하였다. 두 번째 출력인 5V의 출력전압을 듀티 제어기로 피드백 하였고 15V 출력전압은 스위칭 주파수 제어기에 피드백 하였다. 그림 4는 각 부하의 변화 상황에서 전압제어를 위해 필요한 스위칭 주파수를 나타낸 것으로 10%에서 100%의 부하상황을 다 만족시킬 수 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 제안된 방법과 기존의 방법의 레귤레이션 특성을 비교한 것으로 각 로드 상황에 따른 두 방식의 출

력전압을 나타내었다. 기존방식은 각각의 출력을 0.5씩 가중치를 두고 제어 한 것으로 부하의 변화에 따라서 레귤레이션 특성이 떨어지는 것도 있는 반면, 제안된 방법은 어떠한 부하 상황에서도 지령전압을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

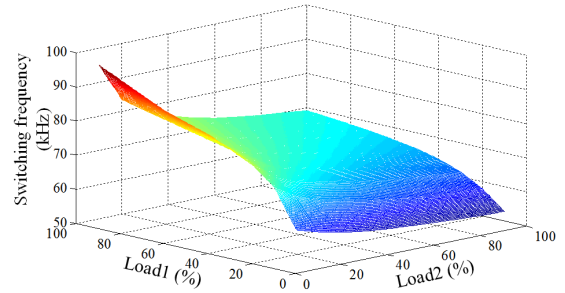
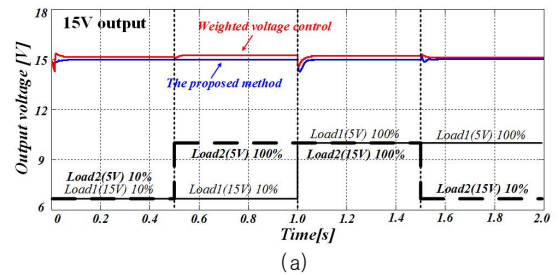
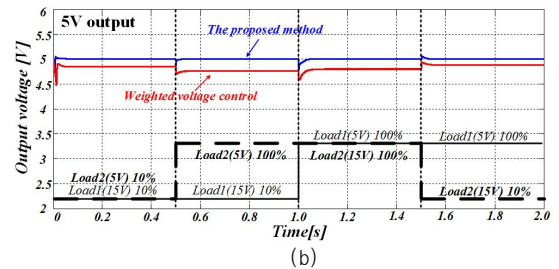


그림 4 각 부하변동을 만족하기 위해 요구되는 스위칭 주파수



(a)



(b)

그림 5 기존 방식과 제안된 방식의 레귤레이션 특성 비교.

(a) 15V 출력. (b) 5V 출력.

4. 결론

본 논문에서는 이중 출력 플라이백 컨버터의 각 출력에 필터를 추가함으로써 어떤 부하 상황에서도 레귤레이션 특성을 유지 할 수 있도록 하였다. 추가 된 필터에 의해서 스위칭 주파수 조절에도 출력전압을 제어 할 수 있기 때문에 듀티 제어와 스위칭 주파수 제어를 이용하여 각각의 출력전압을 개별적으로 제어 하였고 40W의 시험용 컨버터를 설계하여 그 효율성을 검증 하였다.

참고 문헌

- [1] G. Ma, W. Qu, G. Yu, Y. Liu, N. Liang, and W. Li, "A zero voltage switching bidirectional dc dc converter with state analysis and soft switching oriented design consideration," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol.56, no. 6, pp. 2174-2184, Jun. 2009
- [2] J.W. Shin, S.J. Choi and B.H. Cho, "High Efficiency Bridgeless Flyback Rectifier With Bidirectional Switch and Dual Output Windings," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.29, no.9, pp.4752-4762, Sept. 2014