

동축권선 변압기를 이용한 절연형 스위치드 커패시터 플라이백 컨버터

김도현, 문 솔, 김찬인, 장종호, 박종후
 숭실대학교

Isolated switched capacitor flyback converter using coaxial cable transformer

Do Hyun Kim, Sol Moon, Chan In Kim, Jonf Ho Jang, Joung Hu Park
 Soongsil University

ABSTRACT

본 논문은 동축권선 변압기를 이용한 승압형 플라이백 컨버터에 절연형 스위치드 커패시터 셀을 추가한 새로운 토폴로지를 제안한다. 제안하는 회로는 절연형 스위치드 커패시터 셀의 출력과 플라이백의 출력을 직렬 연결하여 고승압에 유리하고 스위치 온타임과 스위치 오프타임 모두 전력을 전달하여 기존의 플라이백 컨버터보다 향상된 변압기의 이용률을 가진다. 제안된 회로의 동작원리를 설명하고 60W급 하드웨어 프로토타입을 이용하여 검증하였다.

1. 서론

기존의 플라이백 컨버터는 구조가 단순하고 소형화에 용이하다는 장점으로 인하여 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되어 왔다. 그러나 플라이백 컨버터는 스위치 온타임에만 전력을 전달하므로 변압기의 이용률이 낮고, DC-DC 전력변환에서 비교적 낮은 효율을 가지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 플라이백 컨버터의 출력단에 절연형 스위치드 커패시터 셀을 직렬 연결한 새로운 토폴로지를 제안하였다. 제안된 회로의 동작특성을 분석하였고 60W급 하드웨어 프로토타입을 이용한 실험을 통하여 분석한 동작특성을 확인하였으며, 입력전압과 변압기의 턴비의 변화에 따른 효율비교를 하였다.^{[1][2]}

2. 절연형 스위치드 커패시터 플라이백 컨버터

2.1 절연형 스위치드 커패시터 셀

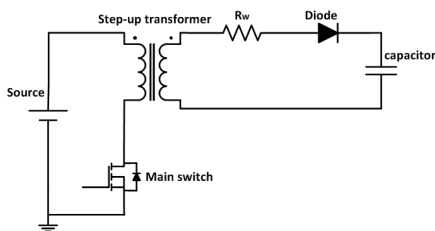


그림 1 절연형 스위치드 커패시터 셀

제안하는 절연형 스위치드 커패시터 셀의 회로도를 그림 1

에 나타내었다. 변압기의 2차측 권선에 존재하는 기생저항 (R_w)이 피크전류를 제한하여 출력 커패시터로 펄스전류가 흐르는 것을 저지한다. 다이오드에 흐르는 피크전류는 식(1)과 같다.

$$I_{pk} = \frac{2 \cdot I_o(1-D)T}{R_w C(1-e^{-\frac{-DT}{\tau}})} + I_o \quad (1)$$

I_{pk} 는 피크전류, I_o 는 출력전류, D 는 시비율, T 는 스위칭 주기, R_w 은 기생저항, C 는 커패시턴스, τ 는 $R_w C$ 이다.

제안하는 셀은 변압기의 턴비를 이용하여 고승압의 전력변환이 가능하지만 스위치 온타임에만 전력을 전달하고 단일동작시 변압기의 자화전류가 포화되므로 이를 적용하기 위해서는 변압기의 자화전류를 리셋하는 회로가 추가되어야 한다.

2.2 제안된 컨버터의 구조

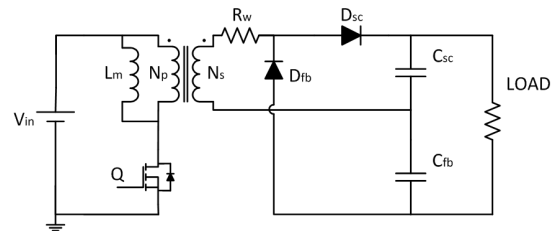


그림 2 절연형 스위치드 커패시터 플라이백 컨버터

제안하는 절연형 스위치드 커패시터 플라이백 컨버터의 회로도를 그림 2에 나타내었다. 절연형 스위치드 커패시터 셀에 리셋 회로로 플라이백 컨버터를 직렬 연결하는 방식이다.

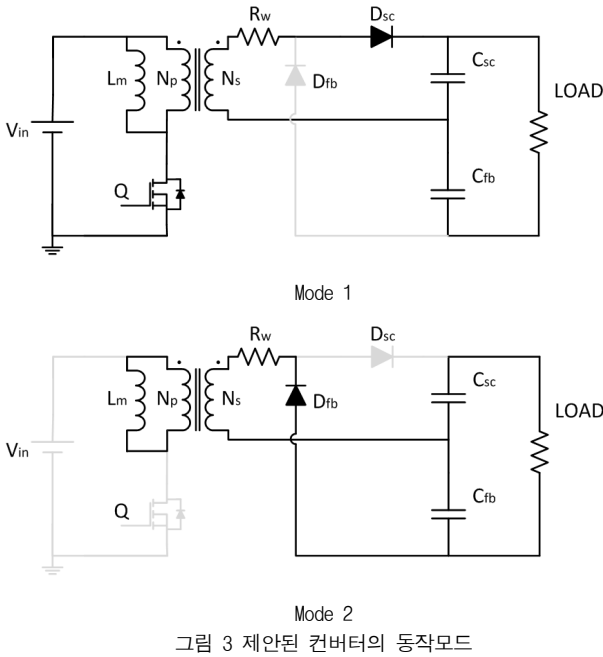
2.3 동작특성

스위치드 커패시터 셀의 승압비는 변압기의 권선비로 간단하게 근사할 수 있으므로, 제안하는 컨버터의 승압비(M)는 스위치드 커패시터 (M_{sc})와 플라이백 (M_{fb})의 합으로 나타내어진다.

$$M_{sc} = n, \quad M_{fb} = \frac{D}{1-D} \cdot n \quad (2)$$

$$M = M_{sc} + M_{fb} = \frac{1}{1-D} \cdot n \quad (3)$$

제안된 컨버터는 CCM으로 동작하며 주 스위치의 on, off 동작 상황에 따라서 2가지 Mode로 나누어 분석할 수 있다. 제안된 컨버터의 동작모드를 그림 3에 나타내었다.



Mode_1에서는 주스위치가 Turn on 되어 스위치드 커패시터 셀로 에너지가 전달되며 동시에 변압기의 자화 인덕턴스 (L_m)에 에너지가 저장된다.

Mode_2에서는 주스위치가 Turn off 되어 자화 인덕턴스 (L_m)에 저장되어 있는 에너지가 플라이백 컨버터로 전달된다.

3. 실험결과

3.1 실험의 구성

변압기 권선은 동축 케이블을 이용하여 누설 인덕턴스를 저감하였다. 효율측정은 2802 two channel Power Analyzer (Xitron Technologies)를 사용하였으며, 표 1에 실험조건과 파라미터값을 표시하였다.^[3]

표 1 실험조건 파라미터

입력전압	20V ~ 40V	출력전압	340V
출력전력	60W	f_{sw}	40kHz
D_{sc}, D_{fb}	SF18	C_{sc}, C_{fb}	100 μ F
L_m	205 μ H	R_w	1150m Ω
N_p	14turns	N_s	70turns
Q	IRFP250N	core	PC40 TDK

3.2 동작파형

그림 4에 제안하는 컨버터의 실험파형을 나타내었다. 스위치드 커패시터 셀에 흐르는 전류($I_{D_{sc}}$)의 피크값이 식 (1)에 근사함을 확인할 수 있다. 또한 드레인 소스 전압 (V_{ds}) 파형을 통하여 동축권선 변압기의 우수한 커플링을 확인할 수 있다.

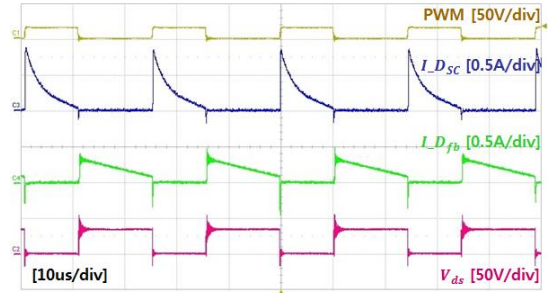


그림 4 제안된 컨버터의 동작특성

3.3 효율

변압기의 턴비와 입력전압의 변화에 따른 효율변화를 그림 5에 나타내었다. 1:5 턴비와 40V 입력전압에서 최고효율(95.6%)을 기록하였고, 변압기 턴비의 증가에 따라 최고효율을 기록하는 승압비가 증가함을 알 수 있다.

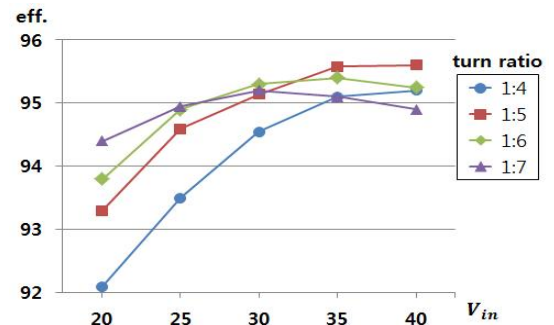


그림 5 입력전압과 턴비의 변화에 따른 효율

4. 결론

본 논문에서는 동축권선 트랜스포머를 이용한 절연형 스위치드 커패시터 플라이백 컨버터를 제안하였고, 60W급 프로토타입 하드웨어를 이용하여 변압기의 턴비, 입력전압의 변화에 따른 효율측정 실험을 수행하였으며 이를 통해 우수한 효율을 검증하였다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원금을 받아 수행된 것임 (NO.2010-0025674).

참고 문헌

- [1] Jong Hyun Lee, "Series Connected Forward Flyback Converter for High Step and High efficiency Power Conversion", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, 2011 pp.3629~3641
- [2] Hernan Emilio Tacca, "Single Switch Two Output Flyback Forward Converter Operation", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 13, NO. 5, Sep. 1998, pp.903~911
- [3] 김도현, 박종후 "동축권선 트랜스포머를 이용한 고효율 플라이백 컨버터", 전력전자학회 2011년도 학술대회 논문집 2011.7, pp.187~188