

태양광 모듈 발전 시스템용 탭인덕터 부스트 컨버터의 효율 분석

장종호, 김도현, 서정원, 박종후
 숭실대학교

Efficiency Analysis of tapped-Inductor Boost Converter for Module Integrated Converter of Photovoltaic Power Conditioning System

Jong Ho Jang, Do Hyun Kim, Jung Won Seo, Joung Hu Park
 Soongsil University

ABSTRACT

본 논문에서는 탭 인덕터 부스트 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 탭인덕터를 적용함으로써 권선비에 따른 시비율을 조절할 수 있어 극단적인 승압시에도 부스트 컨버터의 도통율을 적절히 유지할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 탭인덕터 부스트 컨버터 사용에 따른 효율 향상도를 예측할 수 있도록 손실을 분석하였다. 제안하는 컨버터는 정상상태 연속모드(CCM)에서의 동작특성을 분석하였으며, 60W급 하드웨어 프로토타입을 이용하여 효율을 분석하였다.

1. 서론

태양광 에너지원을 상용전원으로 사용하기 위해서는 고전압으로의 승압이 요구된다. 기존의 부스트컨버터의 경우 고전압으로 승압시 매우 높은 스위치의 시비율을 필요로 한다. 이러한 극단적인 스위치의 시비율은 스위치 손실, 다이오드 손실, EMI 노이즈등을 증가시키므로 효율이 급격히 떨어지게 된다. 따라서 이러한 문제점들을 개선하고자 본 논문에서는 권선비에 따른 스위치 시비율 조절할 수 있고 고승압시 적절한 도통율을 유지할 수 있어 기존의 부스트 컨버터보다 높은 효율을 얻을 수 있는 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터의 동작특성을 분석하였고 제안된 컨버터의 효율을 분석하기 위해 각 소자의 손실을 분석한 시뮬레이션 결과와 실제 하드웨어의 실험을 통한 효율을 비교하였다.

2. 탭인덕터 부스트 컨버터

2.1 탭인덕터 부스트 컨버터

그림 1에 제안하는 탭인덕터 부스트 컨버터를 나타내었다. 제안된 회로는 중간에 탭을 낸 인덕터를 적용하여 1차측과 2차측이 서로 연결되는 구조를 가진다.

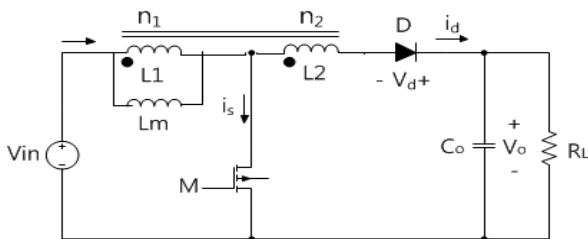
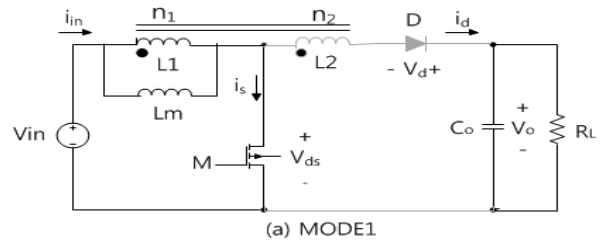


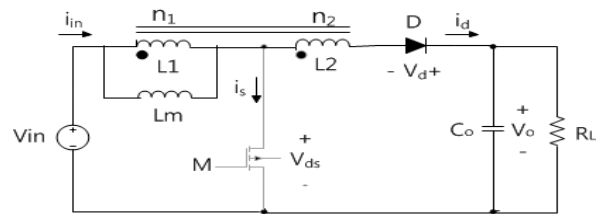
그림 1 제안된 탭인덕터 부스트 컨버터

2.2 탭인덕터 부스트 컨버터의 동작특성

제안하는 컨버터는 스위치의 on/off 동작상태에 따라서 2가지 MODE로 나누어 분석할 수 있다. 그림 2에 제안된 회로의 동작모드를 나타내었다.



(a) MODE1



(b) MODE2

그림 2 제안된 탭인덕터 부스트 컨버터의 동작모드

주스위치가 Turn on이 되면 MODE1의 도통경로가 형성된다. L1에는 V_{in} 의 전압이 인가되고 입력전류 i_{in} 은 V_{in}/L_1 의 기울기로 증가한다.

주스위치가 Turn off 되면 MODE2의 도통경로가 형성된다. 1차측과 2차측이 직렬로 연결되어 있으므로 $(V_{in} - V_o)$ 의 전압이 인가되어 입력전류는 MODE1의 입력전류의 $n_1/(n_1 + n_2)$ 로 즉시 감소하고 주스위치의 Turn off 시간동안 음의 기울기로 감소한다. 주스위치의 Turn off 시간동안 입력전류와 다이오드에 흐르는 전류는 동일하다.^[1]

2.3 탭인덕터 부스트 컨버터의 정상상태 해석

제안된 컨버터를 스위치의 on, off 타임의 등가회로로 변환하여 연속모드(CCM)에서 분석하면 이득 M_{VDC} 는 도통률 D로 아래와 같이 유도된다.

$$M_{VDC} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{n(1-D)+D}{n(1-D)}, \quad n = \frac{n_1}{n_1+n_2}$$

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 손실분석

3.1.1 주스위치 손실

스위칭소자의 손실에는 도통손실과 스위칭 손실이 있다. 도통손실은 (1), 스위칭 손실은 (2)와 같다.

$$P_{s(cond)} = R_{ds(on)} I_s^2(rms) \dots (1)$$

$$= R_{ds(on)} \left[\left\{ \frac{n(V_{in} - V_o)(D-1)}{\sqrt{3} L_1 f_s} \right\}^2 + \left\{ \frac{V_o}{R_L(1-D)n} - \frac{n(V_{in} - V_o)(D-1)}{2L_1 f_s} \right\}^2 \right] [W]$$

$$P_{s(sw)} = \frac{f_s}{2} (t_r + t_f) I_s(avg) V_{in} = \frac{f_s(t_r + t_f) V_{in} V_o}{2R_L n(1-D)} [W] (2)$$

3.1.2 다이오드 손실

다이오드 손실은 도통손실과 스위칭 손실이 있다. 도통손실은 (3), 스위칭 손실은 (4)와 같다.

$$P_{d(cond)} = V_{d(F)} I_d(avg) + R_{ds(on)} I_d^2(rms) \dots (3)$$

$$= V_{d(F)} \frac{V_o}{(1-D)R_L} + R_{ds(on)} n^2 I_s^2(rms) [W]$$

$$P_{d(sw)} = \frac{1}{2} (V_{d(F)P} - V_{d(F)}) I_d(avg) t_r f_s + V_d Q_{rr} f_s [W] (4)$$

3.1.3 인덕터 손실

인덕터 손실에는 Core의 히스테리시스 손실과 1차측, 2차측의 도통손실이 있다. 히스테리시스 손실은 (5), 1차측 도통손실은 (6), 2차측 도통손실은 (7)과 같다.

$$P_{core(hys)} = f_s A_c l_m \int H dB [W] \dots (5)$$

$$P_{n1(cond)} = R_{n1} I_{L1}^2(rms) = R_{n1} I_s^2(rms) [W] \dots (6)$$

$$P_{n2(cond)} = R_{n2} I_{L2}^2(rms) = R_{n2} I_d^2(rms) [W] \dots (7)$$

따라서 전체 손실을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$P^{[2]}$$

3.2 전력변환 효율

MATLAB Simulink로 탭인덕터 부스트 컨버터의 각 소자의 손실을 종합하여 효율을 분석하였고 60[W]급 하드웨어 프로토타입을 이용한 효율실험과 비교하였다.

3.2.1 실험의 구성

본 논문에서는 탭인덕터 부스트 컨버터의 스위칭 소자로 MOSFET(AUIRFB4410)을 사용하였고, 출력단 다이오드는 Ultra Fast Diode(UF4007)을 사용하였으며, 게이트 드라이버로는 TC4420을 사용하였다. 효율 측정은 Xitron Technologies사의 2802 two channel Power Analyzer를 사용하였다. 표 1은 시뮬레이션 및 설계에 사용한 탭인덕터 부스트 컨버터의 설계 사양이다.

3.2.2 실험의 결과

입력전압에 따른 하드웨어와 시뮬레이션의 효율변화를 그림 3에 나타내었다. 전 영역에서 높은 효율을 나타내고 있으며 40[V], 60[W]에서 94[%] 이상의 높은 효율을 확인하였다.

3.3 탭인덕터 부스트 컨버터의 동작파형

그림 4는 실험을 통해 얻은 제안된 컨버터의 동작파형이다.

동작특성 분석과 동일한 실험파형을 확인하였다.

표 1 제안된 컨버터의 설계사양

입력전압	20~40[VDC]	출력전력	60[W]
출력전압	340[VDC]	스위칭 주파수	20[KHz]
Lm	160[uH]	Co	100[uF]
n1	14[Turn]	n2	70[Turn]

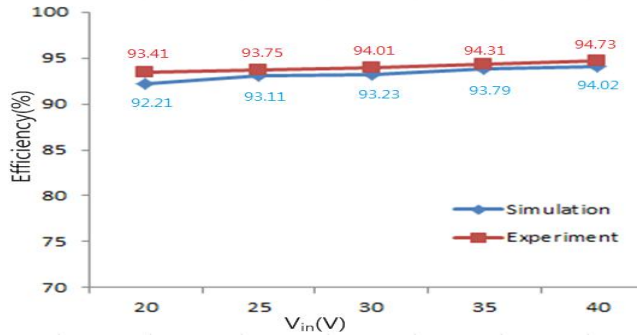


그림 3 시뮬레이션과 하드웨어의 입력전압에 따른 효율변화

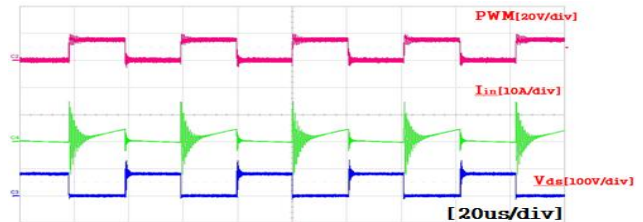


그림 4 제안된 컨버터의 동작파형

4. 결론

본 논문에서 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안하였고, 동작특성과 효율 향상도를 예측할 수 있도록 시뮬레이션과 실험을 통해 비교해 보았다. 실험 결과 그림 3처럼 시뮬레이션과 실험 효율 그래프 모두 전압 증가시 효율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 제안한 컨버터는 40[V], 60[W]에서 94% 이상의 고효율로 동작하며, 시뮬레이션 효율 향상도와 실험 효율 향상도가 일치하는 것을 검증하였다.

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

참고 문헌

- [1] Joung Hu Park, "Analysis and Design of the Soft Switching Tapped Inductor Converter under Critical Conduction Mode", Seoul National University, Ph.D dissertation, 2006
- [2] Fernando Lessa Tofoli, Yblin Janeth Acosta Alcazar. "Novel Nonisolated High Voltage Gain DC DC Converters Based on 3SSC and VMC", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 27, NO. 9, SEPTEMBER 2012, pp. 3897~3907