

2-Stage 방식 Boost Converter의 최적 운전 기법

정다움, 최철, 박성준, 김동희†
전남대학교

Optimum Operation Method of 2-Stage Boost Converter

Da Woom Jeong, Cheol Choi, Sung Jun Park, Dong Hee Kim†
Chonnam National University

ABSTRACT

최근 무분별한 화석 연료 사용으로 인한 환경 문제가 대두되면서, 대체 에너지에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 고효율, 저소음, 연료의 유연성 및 친환경 등 높은 장래성을 함축하고 있는 연료 전지를 채택하였다. 하지만 일반적인 연료 전지는 24~48[V]의 낮은 출력 전압 특성을 가지고 있어, 수용가 측에서 요구하는 전압 레벨로 승압하기 위해 Boost Converter를 필요로 한다. 하지만 기존 Boost Converter 방식의 경우 고 승압에 있어 많은 어려움이 따른다. 본 논문에서는 문제의 해결 방안으로 두 대의 Boost Converter를 직렬 연결한 2 Stage 방식을 채택하여 고 승압을 이루었다. 또한 최적 효율이 되기 위한 전압 값을 도출하여, 효율적인 시스템 운영이 가능하였으며, PSIM Simulation을 통하여 검증하였다.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 산업화가 가속 되면서, 지구 온난화와 같은 환경 문제 및 화석 연료 고갈 문제가 대두되고 있다. 문제의 해결 방안으로 현재 연료 전지를 이용한 발전 시스템 구축이 활발히 이루어지고 있다. 이때, 일반적인 연료 전지는 24~48 [V]의 낮은 출력 전압 특성상 수용가 측에서 원하는 전압 레벨로 승압하기 위해, 승압용 DC/DC Converter 장비 구축이 필수적이다. 하지만 기존의 Boost Converter의 경우 승압비가 증가할수록 즉, 출력 전압이 높아질수록 Switch 및 Diode에서 발생하는 전압/전류 스트레스가 증가하는 문제점이 따른다. 또한 다이오드 역 방향 바이어스에 의해 파생되는 서지 전압의 영향으로, 실제 제어가 가능한 Duty 범위가 한정적이다. 그러므로 기존 방식의 Boost Converter는 고 승압용으로 구축하기에 적합하지 못하다.^[1]

본 논문에서는 두 대의 Boost Converter를 직렬 연결하는 2 Stage 방식을 채택하여 고 승압을 이루었다. 이때, 직렬 연결된 전체 전력 변환 장치의 입력 전압과 출력 전압을 각각 48 [V] 및 380 [V]로 고정하고 앞단의 Boost Converter 출력 전압 즉, V_{mid} 전압을 PWM 제어 방식을 통한 Duty 가변을 통해 제어함으로써, 효율적인 시스템 운영이 가능하였다.

또한 본 논문에서는 PSIM Simulation에서 제공하는 Thermal Module을 사용함으로써, Switch 및 Diode에서 발생하는 손실 측정이 가능하여, 전체 시스템의 정확한 효율 계산이 가능하였다.

2. 본 론

1.1 2-Stage 방식 Boost Converter

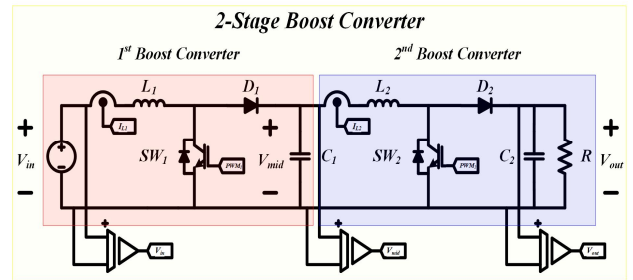


그림 1 2-Stage 방식 Boost Converter 시스템
Fig. 1 2-Stage Boost Converter System

기존 비 절연 방식 Boost Converter의 고 승압 시 인덕터, 다이오드 및 스위치 등의 내부 저항에 의한 전압 강하로부터 Boost Converter의 출력 전압이 감소한다.

따라서 본 논문에서는 높은 승압 비 설계를 위해 그림 1과 같이 두 대의 Boost Converter를 직렬 연결한, 2 Stage 방식을 채택하여 높은 전압 이득을 얻을 수 있었다.

1.2 전압 가변에 따른 손실 분석

Boost Converter에서 발생하는 손실로써 크게 인덕터 손실, 다이오드 손실 및 스위치 손실로 나눌 수 있다.

인덕터에서 발생하는 손실은 크게 동손과 철손으로 구분된다. 동손은 인덕터를 구성하는 권선의 내부 저항에서 발생하는 손실이며, 철손은 자속밀도 B와 자계의 세기 H의 관계에서 발생하는 히스테리시스 손실 및 와류손으로 구분된다.

식 (1)은 동손, 히스테리시스 손실 및 와류손을 나타낸다.

$$\text{동손} : P_L = I_L^2 \times X_L \quad (1)$$

$$\text{히스테리시스 손실} : P_h = \delta_h \cdot f \cdot B_m^{1.6 \sim 2}$$

$$\text{와류손} : P_e = \sigma(t \cdot k \cdot f \cdot B_m)^2$$

스위칭 소자에 의한 손실로는 스위칭 손실 및 스위치 도통 손실로 구분되며 식 (2)로부터 구할 수 있다.

$$P_{sw} = f_{sw} \left[\left(\int_{t_{off}}^{t_{on}} I_D(t) V_{DS}(t) dt \right) + \left(\int_{t_{on}}^{t_{off}} I_D(t) V_{DS}(t) dt \right) \right]$$

$$P_{cond} = I_D^2 \cdot R_{DS(on)} \cdot D_{on} \quad (2)$$

본 논문에서는 전체 시스템의 입력 전압 및 출력 전압을 각각 48 [V], 380 [V]로 고정 시, 앞단 Boost Converter의 출력 전압 즉, V_{mid} 전압을 PWM 제어 방식을 통한 Duty 가변으로 제어함으로써, 최대 효율 지점을 도출 하였다.



그림 2 1st Boost Converter 손실
Fig. 2 1st Boost Converter Loss

표 1 1st Boost Converter 효율

Table 1 1st Boost Converter Efficiency

1 st Boost Converter					
V_{in} [V]	V_{mid} [V]	SW ₁ 손실 [W]	D ₁ 손실 [W]	L ₁ 손실 [W]	Efficiency [%]
48	100	9.03	19.04	20.36	95.45
48	110	9.70	17.34	20.51	95.52
48	120	10.42	15.69	20.65	95.59
48	130	11.64	14.98	20.78	95.56
48	140	11.18	14.01	20.89	95.64
48	150	11.95	12.41	20.99	95.71

표 1에서는 앞단의 Boost Converter 입력 전압을 48 [V]로 고정 시 출력 전압 가변에 따른 효율을 보여준다. 입/출력 전압 차가 증가 할수록 효율이 감소하지만, 출력 전압 증가에 따른 출력 전류 감소로 Diode에 의한 손실이 감소한다.

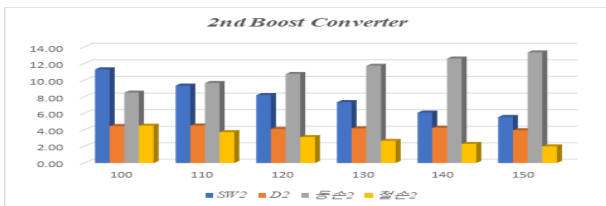


그림 3 2nd Boost Converter 손실
Fig. 3 2nd Boost Converter Loss

표 2 2nd Boost Converter 효율

Table 2 2nd Boost Converter Efficiency

2 nd Boost Converter					
V_{mid} [V]	V_{out} [V]	SW ₂ 손실 [W]	D ₂ 손실 [W]	L ₂ 손실 [W]	Efficiency [%]
100	380	11.30	4.45	12.99	97.21
110	380	9.34	4.52	13.37	97.35
120	380	8.19	4.11	13.86	97.45
130	380	7.34	4.17	14.39	97.52
140	380	6.08	4.25	14.90	97.54
150	380	5.55	3.95	15.35	97.57

표 2에서는 뒷단의 Boost Converter 출력 전압을 380 [V]로 고정 시 입력 전압 가변에 따른 효율을 보여준다. 입력 전압이 증가할 시 입/출력 전압 차가 감소하여 효율이 증가한다.

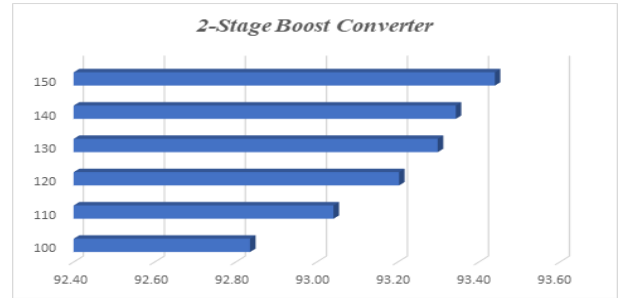


그림 4 2-Stage 방식 Boost Converter 시스템 효율
Fig. 4 2-Stage Boost Converter System Efficiency

표 3 2-Stage 방식 Boost Converter 시스템 효율

Table 3 2-Stage Boost Converter System Efficiency

2 Stage 방식 Boost Converter					
V_{in} [V]	V_{mid} [V]	V_{out} [V]	1 st Boost Converter Loss [W]	2 nd Boost Converter Loss [W]	Efficiency [%]
48	100	380	48.43	28.75	92.83
48	110	380	47.56	27.23	92.98
48	120	380	46.76	26.16	93.15
48	130	380	47.39	25.91	93.19
48	140	380	46.08	25.23	93.28
48	150	380	45.35	24.85	93.39

표 3에서는 2 Stage 방식 Boost Converter의 전체 효율을 보여준다. 입력 전압과 출력 전압을 각각 48 [V] 및 380 [V] 고정 시 V_{mid} 전압이 높아질수록 효율이 증가함을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 2 Stage 방식 Boost Converter의 최적 운전 조건을 위해, PWM 제어 방식을 통한 Duty 값을 변조함으로써 V_{mid} 전압을 가변하였다. PSIM Simulation을 통하여 V_{mid} 전압이 가변됨에 따라 입력 대비 출력 효율이 서로 상이함을 알 수 있었으며, 그에 따른 최적 전압 값을 도출하여 효율적인 시스템 운영이 가능하였다. 또한 PSIM에서 제공하는 Thermal Module를 사용함으로써 Diode 및 Switch의 손실 측정이 가능하여 정확한 효율 계산이 가능하였다.

본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화산업육성사업(R0006288)”으로 수행된 연구 결과입니다.

참고 문헌

[1] Ho Won Yoo, Yong Min Jung, Seung Beom Lim, Jun Young Lee, and Soon Chan Hong, “Design of the Two Stage DC DC Converter for 1kW Fuel Cell Power Generation System”, Journal of Power Electronics, pp. 206 208, 2008. 10, August.