

전류리플저감을 위한 연료전지용 인터리브드 듀얼 하프브리지 컨버터

이정인, 곽진영, 안혜은, 김석은, 김태웅
경상국립대학교

Interleaved Dual Half Bridge Converter with Input Ripple Reduction for Fuel Cells

Jung-In Lee, Jin-Yeong Kwak, Hye-Eun An, Seok-Eun Kim, Tae-Woong Kim
Gyeongsang National University

ABSTRACT

본 논문은 연료전지를 전원으로 하는 시스템에 적용 가능한 2상 인터리브드 듀얼 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안 컨버터는 기존 듀얼 하프브리지 컨버터를 1차측 듀티비를 50%로 고정하여 2차측 브리지의 듀티비를 통해 제어한다. 또한 기존 듀얼 하프브리지 컨버터와 2상 인터리브드 하프브리지 컨버터를 대상으로 2차측 브리지 듀티비, 위상에 따른 입력전류리플, 승압비에 대한 시뮬레이션 해석을 수행하여 2상 인터리브드 하프브리지 컨버터가 전 부하에서 입력전류리플저감에 대한 타당성을 확인한다.

1. 서론

연료전지 시장은 지구 환경오염 및 온난화 문제를 해결하기 위한 청정 전력부문의 증가, 연료전지 자동차의 보급, 전력 부문의 성장 및 세계적인 발전능력의 증강 등의 요인으로 인해 관련 산업이 성장하고 있다.^[1]

연료전지는 직류출력을 가지며 연료전지 스택을 구성하는 단위 셀 전압은 무부하시 약 1.15Vdc로 셀 직렬연결로 출력전압을 높이므로 출력전압이 높아질수록 스택비용이 증가한다. 또한 연료전지의 출력전류리플에 민감하여 낮은 출력전류리플이 요구되며 그림 1에서 보여준 부하전류 증가시 단위 셀 전압이 약 0.7Vdc까지 낮아져 부하에 따른 출력전압 변동폭이 커지므로 출력전압의 조정이 요구된다.^[2-3]

따라서 연료전지시스템에 사용되는 DC-DC 컨버터는 넓은 입력전압범위와 낮은 입력전류리플 특성을 목표로 연구개발되어왔다. 승압형 하프브리지(BHB) 토폴로지는 풀브리지 토폴로지보다 적은 소자로 승압과 전 듀티영역에서 ZVS 턴온이 가능하고 듀얼 하프브리지 컨버터(DHB)는 브리지간 위상을 제어함으로써 고효율 특성을 가진다.^[4-5]

본 논문에서는 고정된 1차측 브리지 듀티비를 가지고 2차측 브리지 듀티비에 의해 출력을 제어하여 입력전류리플을 최소화하고 DHB의 연료전지와 부하 사이의 절연, 넓은 입력전압 범위의 장점을 계승한 2상 인터리브드 듀얼 하프브리지 컨버터(IDHB)를 제안하고 시뮬레이션 해석에 의해 제안 토폴로지의 승압비, 입력전류리플저감에 대한 유효성을 검증한다.

2. 듀얼 하프브리지 컨버터의 토폴로지

2.1 듀얼 하프브리지 컨버터

기존 DHB 컨버터는 단상 BHB 2개를 고주파변압기를 통해

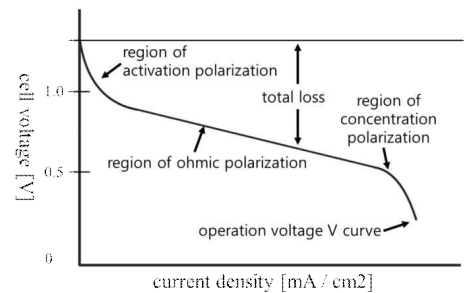


Fig.1 V-I curve of PEM fuel cell

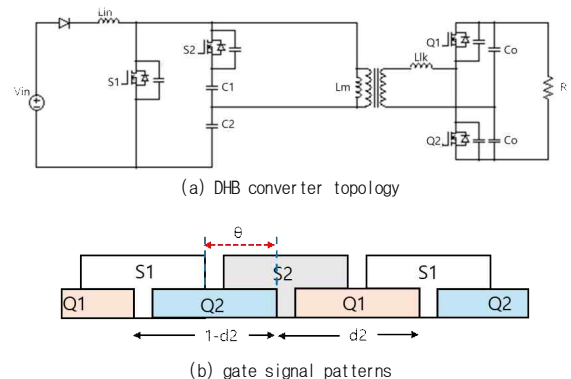


Fig.2 Topology and gate signal patterns of DHB converter

대칭적으로 연결한 토폴로지로 구성되며 그림 2의 (a)에 보여준다. 그리고 브리지간의 스위칭신호 위상차 θ 는 그림 2의 (b)와 같이 정의할 수 있으며 위상차가 90° 에 가까울수록 출력전력 P_o 가 최대치에 가까워지며, 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$P_o = R \left(\frac{V_{in} \phi (1 - 2\phi)}{2f_s L_{lk}} \right)^2 \quad (1)$$

여기서, L_{lk} : 누설인덕턴스, f_s : 스위칭주파수, R : 부하저항, $\phi = \frac{\theta}{360}$

2.2 인터리브드 듀얼 하프브리지 컨버터

IDHB 컨버터는 입력전압과 부하를 공통으로 하여 단상 DHB 컨버터를 병렬로 연결한 인터리브드 승압형 컨버터 토폴로지이며 그림 3에 보여준다. 그리고 2차측 브리지의 듀티 d_2 를 제어함으로써 단상 부스트하프브리지 컨버터와 같이 동일하게 제어가능하다.

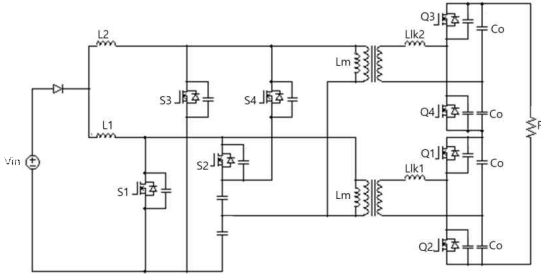


Fig.3 Two phase IDHB converter topology

IDHB 컨버터 1차측 브리지의 듀티는 모든 상이 동일하며 각 인덕터에 흐르는 전류가 식 (2)의 위상차로 분산됨에 따라 상의 개수가 증가할수록 듀티에 따른 리플 및 출력 주파수 특성이 개선되는 인터리브드 컨버터 특징을 참고하여 결정한다.

여기서, 각 상의 입력인덕터 용량은 단상 DHB 컨버터라고 가정했을 때의 입력인덕턴스를 상의 수 N으로 나눈 수치이며 이는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\text{각 상의 위상차} = \frac{2\pi}{N} \quad (2)$$

$$L_i = \frac{L_{in}}{N} \quad (3)$$

여기서 $i = 1, 2, 3, 4 \dots$

2.3 입력전류리플 및 승압비

표 1은 기존 DHB 토폴로지와 2상 IDHB 토폴로지의 듀티비에 따른 입력전류 리플 및 출력전압에 대한 추세를 보여주며, 표 2는 기존 DHB 토폴로지와 2상 IDHB 토폴로지의 θ 에 따른 입력전류리플 및 출력전압 추세를 보여준다. 이를 통해 입력전류 리플이 모든 부하에서 2상 IDHB일 때 저감되며, 최대입출력승압비 또한 두 토폴로지가 유사함을 확인할 수 있다.

Table 1. Ripple characteristics according to duty ratio

| d2 ratio [%] | Dual Half Bridge(DHB) | | 2 phase IDHB | |
|--------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| | input current ripple [%] | output voltage [V] | input current ripple [%] | output voltage [V] |
| 0 | 390.2 | 9.1 | 360.8 | 0.8 |
| 10 | 265.0 | 17.3 | 6.5 | 125.4 |
| 20 | 228.2 | 186.9 | 3.7 | 160.6 |
| 40 | 143.1 | 224.0 | 1.4 | 241.0 |
| 50 | 134.7 | 231.0 | 0.8 | 251.2 |

Table 2. Ripple characteristics according to phase

| θ [degree] | Dual Half Bridge(DHB) | | 2 phase IDHB | |
|-------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| | input current ripple [%] | output voltage [V] | input current ripple [%] | output voltage [V] |
| 180 | 390.2 | 9.4 | 280.5 | 0.8 |
| 150 | 245.4 | 180.6 | 13.1 | 139.7 |
| 135 | 207.9 | 196.1 | 9.9 | 188.4 |
| 120 | 161.8 | 222.9 | 2.6 | 223.8 |
| 90 | 134.7 | 230.3 | 0.8 | 251.2 |

3. 시뮬레이션 해석

3.1 시스템 구성 및 결과 분석

그림 2의 (a) 및 그림 3에 보여준 기존 DHB 토폴로지와 2상 IDHB 토폴로지에 대한 시뮬레이션 사양은 표 3과 같다. 입력전류, 인덕터 전류, 출력전압에 대한 결과파형은 그림 4에 보여주며 제안한 2상 IDHB 토폴로지가 기존 DHB 토폴로지와

Table 3. System specification in simulation analysis

| item | value | |
|------------------------|----------------------|------|
| input source Vin | 40V | |
| switching frequency fs | 50kHz | |
| leakage inductance Llk | 20uH | |
| output capacitor Co | 60uF | |
| clamp capacitor C1, C2 | 470uF | |
| load R | 50ohm | |
| transformer turn ratio | 1:1 | |
| DHB | input inductance Lin | 20uH |
| IDHB | | 10uH |

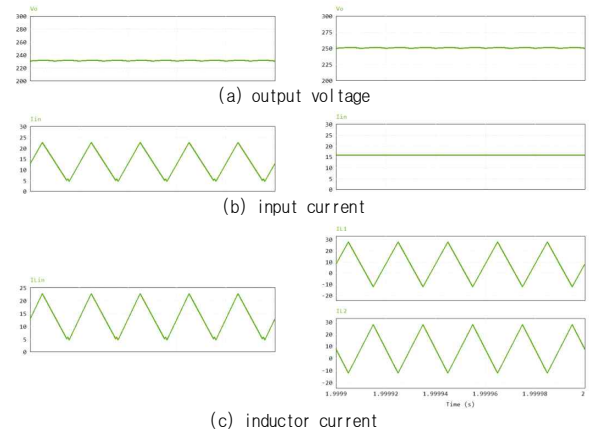


Fig. 4 Waveforms of input current and output voltage by DHB and IDHB; left) DHB, right) IDHB

같은 승압비를 유지함과 동시에 인덕터전류의 상쇄로 인한 인터리빙기법의 낮은 입력전류리플특성을 확인하였으며, 2.3절에서 기술한 바와 같은 결과를 얻어냈다.

4. 결론

본 논문에서는 전류리플저감 특성을 극대화한 2상 인터리브드 듀얼 하프브리지 컨버터 토폴로지와 기존 듀얼 하프브리지 컨버터 토폴로지의 전류리플 및 승압비를 비교분석하였고, 입력전류리플 저감시 인터리브드 듀얼 하프브리지 토폴로지가 유리한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문은 이후 연료전지를 사용하는 시스템에 적용할 토폴로지 선정시 도움이 될 것으로 기대되며, 제작중인 프로토타입을 실험을 통해 검증할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 정인수, "ASTI MARKET INSIGHT 23: 연료전지 시장", 한국과학기술정보연구원, 2021
- [2] 최세완, "특집:대체에너지산업에서의 전력전자기술 연료전지 발전 시스템에서의 전력전자기술," 전력전자학회지, Vol. 8, No. 4, pp. 30-35, 8 2003.
- [3] Y. Yoon, "Detailed Design of Power Conversion Device Hardware for Realization of Fuel Cell Power Generation System," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 22, no. 1, pp. 135 - 140, Feb. 2022.
- [4] 박찬수, 최세완, 나재형, 이진희 and 이정민, "연료전지 응용을 위한 낮은 턴오프 전류를 갖는 준공진형 부스트 하프브리지 컨버터," in 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 31-32, 2012.
- [5] Fang Z. Peng. "A New ZVS Bidirectional DC - DC Converter for Fuel Cell and Battery Application", IEEE transactions on power electronics, vol. 19, no. 1, pp. 54 - 65, Jan, 2004
- [6] 변철홍. "전기자동차용 고효율 변압기 멀티인터리브드 DC/DC 컨버터", 석사학위논문 경상대학교, 2013