

영전압 영전류 스위칭을 이용한 연료전지용 전력변환시스템

孫敬宗^{*}, 宋成根^{**}, 崔峻豪[†], 文彩株^{***}, 金垸憲^{****}, 任永徹^{****}

A zero-voltage zero-current switching power conversion system for fuel cell

Gyoung-Jong Son, Sung-Geun Song, Joon-Ho Choi, Chae-Joo Moon,
Kwang-Heon Kim and Young-Cheol Lim

요 약

일반적인 푸시풀 컨버터는 스위치 소자의 전압 스트레스로 인하여 그 사용범위가 제한적이다. 그러나 푸시풀 컨버터는 연료전지와 같이 가변의 저전압에서 고전압 출력을 요하는 전력변환기에 적합한 구조이다. 본 논문에서는 연료전지 시스템에 ZVS-ZCS가 가능한 새로운 전력변환기 구조를 제안한다. 제안된 푸시풀 컨버터의 스위치 소자는 새로운 수동 클램프 회로에 의해 ZVS 또는 ZCS가 이루어진다. 또한 이러한 수동 클램프 회로로 푸시풀 컨버터의 순시과전압 문제가 해결되었다. 또한 두 배의 주파수를 갖는 벡 컨버터의 스위칭 신호가 푸시풀 컨버터의 스위칭 신호에 동기 시킴으로서 전류 형 인덕터와 변압기 권선의 피크 전류가 저감된다. 제안하는 계통 연계형 연료전지 시스템에 대한 동작을 이론적으로 분석하고 시뮬레이션 및 DSP TMS320F2812을 이용한 1 [kW]급 시작품의 실험 결과로부터 제안하는 인버터의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

The application areas of traditional push-pull converters are limited because the voltage stress of switches is high (twice of the input voltage). But the push-pull converter topology is suitable for unregulated low-voltage to high-voltage power conversion such as the fuel cell. This paper presents a novel power converter structure that is very suitable for the DC/DC converter in fuel cell systems. Based on this structure, a ZVS-ZCS push-pull converter is proposed. The switches of the proposed push-pull converter can operate under ZVS or ZCS condition with the help of a new passive clamping circuit. The passive clamping techniques solves the voltage overshoot problem. Because the buck converter circuit operates at twice the synchronous switching frequency of the push-pull converter, the peak current in the current-fed inductor and transformer is reduced. The operation principle of the proposed converter is analyzed and verified by simulations and experimental results. A 1 kW DC/DC converter was implemented with DSP TMS320F2812, from which experimental results have shown that efficiency improvement and surge suppression can be achieved effectively.

Key Words : ZVS-ZCS push-pull converter, fuel cell, passive clamping technique, synchronous switching frequency

[†]교신저자 : 정회원, 전남대 전기공학과 조교수

E-mail : joono@chonnam.ac.kr

^{**}정회원, 전남대 전기공학과 박사과정 수료

^{***}정회원, 전남대 전기공학과 박사과정

^{****}정회원, 목포대 전기공학과 교수

^{****}정회원, 전남대 전기공학과 교수

접수일자 : 2006. 6. 26 1차 심사 : 2006. 7. 7

2차 심사 : 2006. 7. 13 심사완료 : 2006. 7. 18

1. 서 론

기존 발전설비의 발전과정에서 부산물로 발생하는 일산화탄소, 이산화탄소, 질소 산화물, 황산화물 및 매연 등의 유해물질의 배출이 급속히 증가하고 있다. 이로 인해 공해 및 지구온난화와 같은 심각한 환경문제가

발생하게 되어, 이를 해결하기 위해 국제환경 규제가 강화되고 있다^[1]. 이에 대한 대책으로 대체에너지의 개발에 대한 관심이 크게 고조되고 있다. 연료전지는 태양광발전, 풍력발전과 달리 주변 환경에 관계없이 안정된 전력공급을 할 수 있어 청정에너지로 많은 주목을 받고 있다. 연료전지는 낮은 셀 전압으로 인하여 저 전압 대 전류의 특성을 가지고 있어, 연료전지에서 발생하는 저 전압을 상용 전원으로 사용하기 위해서는 승압용 컨버터와 인버터가 결합된 전력 변환기가 필수적이다. 특히 연료전지의 저 전압 대 전류 특성과 부하에 따른 큰 전압변동 특성 및 높은 승압비로 인하여 기존의 DC/DC 컨버터의 기술로는 전체 시스템에서 요구되는 효율 및 성능을 만족시킬 수 없다. 따라서 연료전지의 특성에 맞는 DC/DC 컨버터의 기술이 절실히 필요하다^[2].

본 논문에서는 기존의 ZVS용 벡 컨버터^[3]와 결합 제안된 ZVS, ZCS용 푸시풀 컨버터를 사용하여 스위치 소자의 전압 정격을 경감할 수 있는 구조를 제안하였다. 제안된 푸시풀 컨버터에 비하여 벡 컨버터의 스위칭 주파수를 두 배로 동작하게 함으로서 푸시풀 컨버터의 전류 피크치를 줄일 수 있었다. 제안된 컨버터가 2단 컨버터 이지만 기존의 2단 방식과 달리 단 사이에 전압 평활용 콘덴서가 없는 방식으로 1단 방식에 비하여 스위칭 소자 1개가 추가된 것뿐입니다. 또한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 연료전지용 전력변환기

2.1 연료전지용 전력변환기의 특성

그림 1은 연료전지의 단위 셀의 V-I 특성을 보여주고 있으며, 연료전지의 출력 특성은 전압과 전류의 형태에 따라 세 영역으로 구분되어 진다.

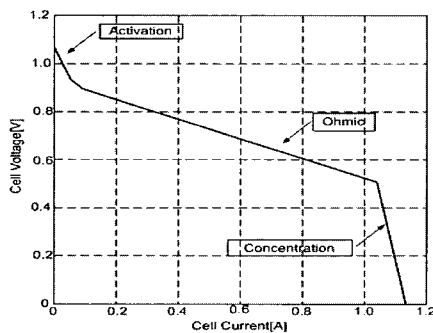


그림 1 연료전지 V-I 특성 곡선
Fig. 1 Characteristics of the fuel cells

- 1) 연료전지에서 무부하시 발생하는 전압의 영역으로 Activation 영역 이 존재하며 이는 일반 전지와 비교 하였을 때 개방전압(Open circuit voltage)과 유사한 부분이다.
- 2) Ohmic영역은 부하가 증가함에 따라 연료전지의 내부 저항 및 연료의 공급량에 따라 연료전지의 출력전압이 그림 1과 같이 선형적으로 감소하는 부분이며 연료전지에 부하를 연결하면 이 영역에서 동작하게 된다.
- 3) 그리고 연료전지의 최대 출력량을 초과하여 더 이상 연료전지에서 출력전압 발생되지 않는 Concentration 영역이다. 이 영역에서 연료전지를 사용 시 연료전지의 수명을 단축시킬 수 있으며 심지어는 파괴될 수도 있다.

그림 1에서와 같이 연료전지의 출력전압은 출력전류에 따라 변동 범위가 2배 이상 크게 변하게 된다. 또한 연료전지는 저 전압 대 전류 특성을 갖고 있으며, 계통과 연계를 위해서는 높은 승압비와 절연이 요구되고 있다.

그림 2는 현재 연료전지용 DC/DC 컨버터로 적용되고 있는 다양한 전력변환기를 나타내고 있다. 그림 2(a)는 일반적으로 많이 사용되는 풀 브리지 컨버터로 변압기 양단에는 직류전원의 크기와 동일한 피크치를 갖는 교류전원이 인가되어 변압기의 권선비가 적은 장점이 있으나, 교류전원을 인가하기 위한 인버터의 스위칭 소자수가 4개로 다른 토폴로지에 비해 많은 스위칭 소자수를 갖는 단점이 있다. 또한 변압기에 교류자속을 형성하기 위해서는 항상 2개의 스위칭 소자가 도통 상태가 되어 스위치 손실은 두 곳에서 발생한다. 특히 연료전지와 같이 저 전압 대 전류용 인버터에서 그 손실은 고려하여야 한다. 그림 2(b)는 하프 브리지 컨버터로 스위칭 소자 수는 풀 브리지 컨버터의 절반이 되는 장점이 있으나, 변압기 양단에 인가되는 교류전압은 풀 브리지 컨버터의 절반이 되어 변압기의 권선비가 2배가 되는 단점과 스위칭 소자에 흐르는 전류가 두 배가 되는 단점이 있다. 그림 2(c)는 푸시풀 컨버터로 변압기의 누설 인덕턴스로 인하여 스위칭 소자의 전압 스트레스가 크며, 1차 측 권선이 2조가 필요한 단점이 있으나, 스위칭 소자 수가 풀 브리지 컨버터의 절반이 되어 전체 스위칭 on 손실이 줄어드는 장점과 변압기의 권선비가 적은 장점으로 저 전압 대 전류용으로 많이 사용되는 방식이다.

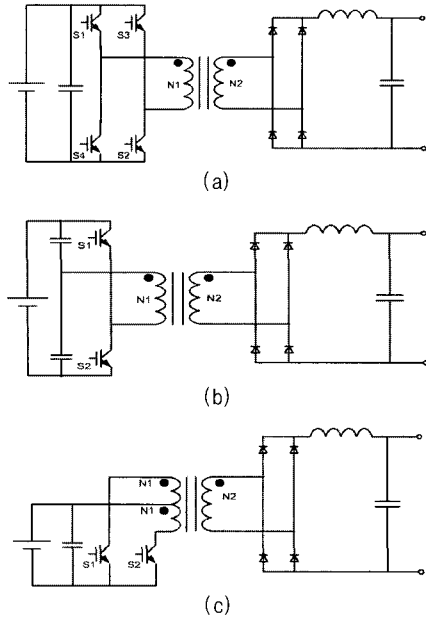


그림 2 다양한 연료전지용 DC/DC 컨버터
Fig. 2 Various type of DC/DC converter for fuel cells

스위칭 손실 저감을 위한 스위칭 소자 저감을 위해서는 일반적으로 푸시풀 컨버터를 사용하고 있으나 스위칭 소자의 전압 스트레스는 입력 전압의 2배가 된다. 특히 입력 전압이 변동하는 연료전지 시스템에서 푸시풀 컨버터의 변압기 설계는 입력 최소 전압에서 정격이 되도록 설계되며, 입력 최대 전압에서도 동작하여야 한다. 따라서 스위칭 소자의 전압 스트레스는 최대 입력 전압의 2배가 인가되는 단점이 있다.

각 컨버터의 장단점으로 인해 어떠한 방식이 우수하다는 결론을 내릴 수는 없으며, 연료전지의 출력전압, 전류, 전력 등과 같은 외부조건에 적합한 컨버터를 선택하여야 한다.

2.2 연료전지 전력변환기 구성

그림 3은 전형적인 연계형 연료 전지용 전력 변환기 구성도를 나타내고 있다. 그림 3(a)는 1단 방식으로 구성이 간단하고 경제적인 장점이 있다. 그림 3(b)는 2단방식의 절연형 DC/DC 컨버터를 사용한 방식이다. 이 방식은 2단 방식으로 인하여 스위칭 소자 수의 증가와 전력 손실이 증가한다는 단점이 있으나, 출력전압 제어 변수가 두 개가 되어 넓은 범위의 입출력, 전압의 구성이 용이한 장점이 있다.

그림 4는 제안된 연계형 연료전지 전력 변환기 구성도를 나타내고 있다. 제안된 방식은 비 절연 DC/DC 컨버터의 인덕터와 전류원 인덕터를 공유하는 구조를 취함으로써 1단 방식과 같은 인덕터 수로 구성할 수 있으며, 중간 전압원 매개체인 콘덴서를 제거하였다. 또한 2단 DC/DC 컨버터를 연계하여 전력 회로를 구성함으로써 DC/DC 컨버터의 ZVS, ZCS 스위칭이 가능한 구조로 하였다.

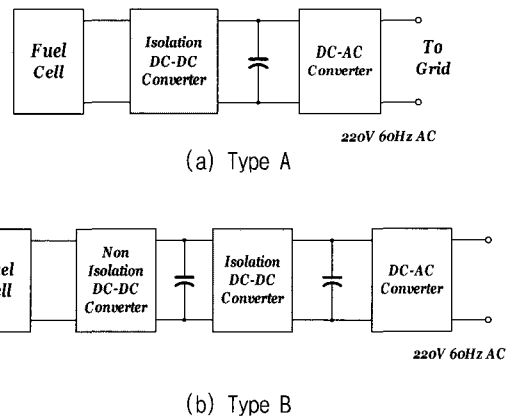


그림 3 전형적인 연계형 연료전지 전력변환기 구성도
Fig. 3 Basic configuration of PCS for fuel cells

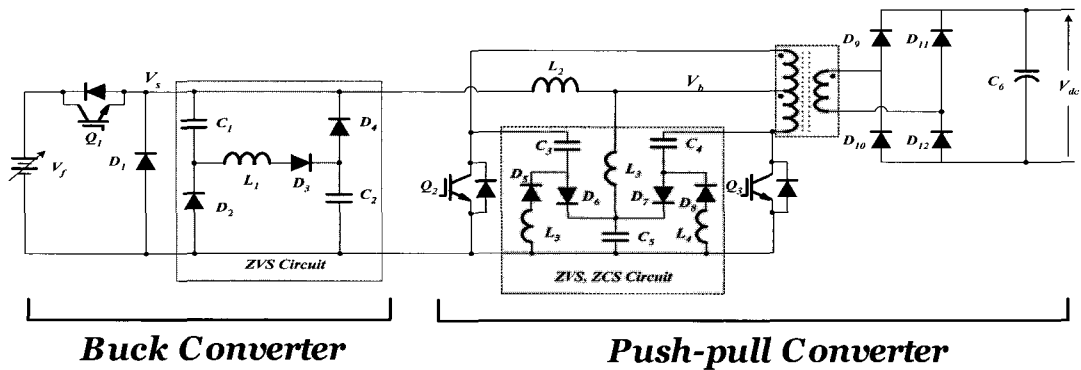


그림 5 제안된 DC/DC 컨버터 회로
Fig. 5 Proposed DC/DC converter circuit

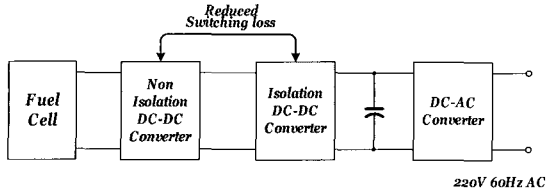


그림 4 제안된 연료전지 전력변환기 구성도
Fig. 4 Proposed configuration of PCS for fuel cells

그림 5는 연료전지용 DC/DC 컨버터 회로도를 나타내고 있다. 그림 5의 전력변환기는 크게 ZVS용 벽 컨버터와 ZVS, ZCS용 푸시풀 컨버터로 구성 된다. 여기서 ZVS용 벽 컨버터는 기존에 사용되는 컨버터를 사용 하였다^[3]. ZVS, ZCS용 푸시풀 컨버터는 본 논문에서 제안하는 방식이다.

기존의 승압 형 푸시풀 컨버터와 제안된 컨버터에서 변압기 설계는 변동하는 입력전압 최저치에서 정격출력이 되도록 설계 되므로 변압기의 권수비는 동일하여 입력 최저 전압에서 스위치에 인가되는 전압의 크기는 동일하다. 그러나 입력 최대 전압이 입력 최소 전압의 2.5배 정도가 되는 통상적인 연료전지 시스템에서 입력 최대 전압일 때 스위치 소자에 인가되는 전압은 입력 최대 전압의 2배가 인가되나, 벽 컨버터와 결합한 제안된 푸시풀 컨버터에서는 입력 최소 전압의 2배가 인가되어 스위치에 인가되는 전압이 약 2.5배로 경감할 수 있다. 이러한 스위치 정격 전압이 낮은 관계로 스위치 on 저항이 낮은 스위치 소자 선택이 가능하여 스위치 도통 손실을 저감할 수 있습니다. 또한 기존의 승압 형 푸시풀 컨버터는 높은 입력 전압에서 낮은 시비율로 인하여 펄스성 출력 전류를 형성하나, 제안된 벽 컨버터 결합형 푸시풀 컨버터는 입력 전압에 관계없이 시비율을 0.5로 할 수 있어 연속의 출력 전류를 형성할 수 있습니다. 또한 제안된 컨버터는 벽 컨버터의 스위칭 주파수를 푸시풀 컨버터의 스위칭 주파수에 비해 두 배의 스위칭 주파수로 동작하게 함으로서 푸시풀 컨버터의 전류 피크치를 줄일 수 있는 장점이 있다.

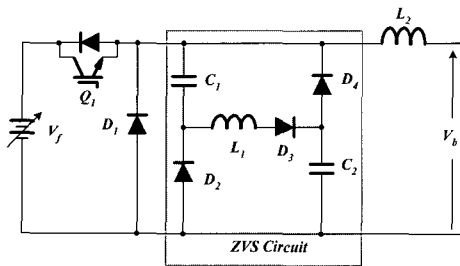


그림 6. ZVS용 DC/DC 컨버터
Fig. 6 DC/DC converter for the ZVS

그림 6은 제안된 ZVS, ZCS용 보조 회로를 갖는 푸시풀 컨버터와 함께 사용될 기존의 ZVS용 벽 컨버터를 나타내고 있다^[3]. 기존의 벽 컨버터에서 출력단의 인덕터는 전류 원 푸시풀 컨버터의 인덕터로 사용됨으로 전압 평활용 콘덴서를 제거하였다.

그림 7은 DC/DC 컨버터 동작 시 각 모드를 나타내고 있으며, 모드 A, C는 기존의 벽 컨버터의 동작모드와 동일하고, ZVS를 위한 보조 회로에 의해 모드 B, D가 추가된 형태가 된다. 모드 B에 의해 스위치 off시 ZVS가 되며, 모드 D에 의해 L, C공진 모드로 보조회로의 콘덴서에 충전이 일어난다.

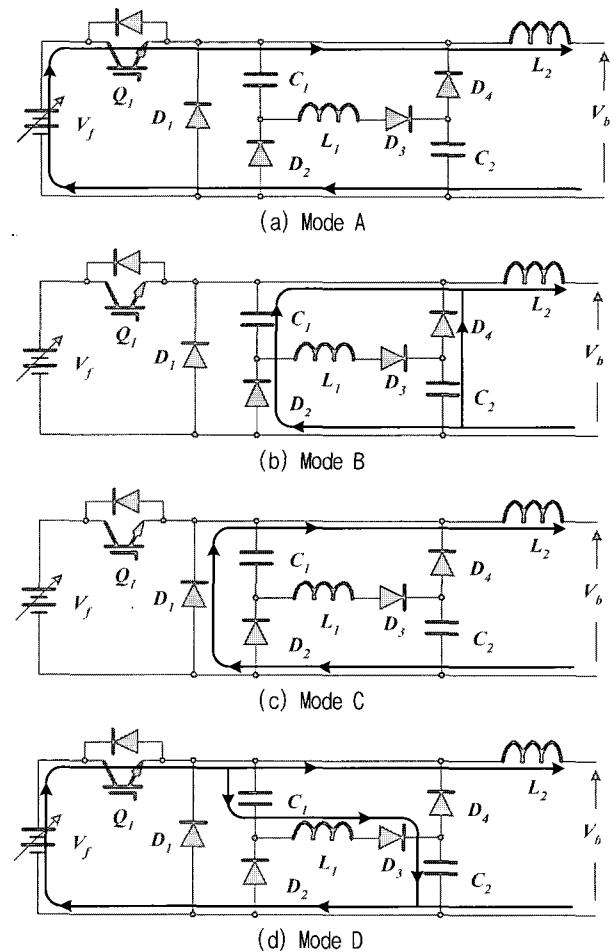


그림 7 ZVS용 DC/DC 컨버터의 동작모드
Fig. 7 Operation mode of DC/DC converter with ZVS

그림 8은 본 연구에서 제안된 전류 원 ZVS, ZCS 푸시풀 컨버터를 나타내고 있으며, 그림 5에서 평활용 콘덴서 V_{cs} 은 인덕터 L_3 를 연결하는 전압으로 결정되며, 이 인덕터는 V_f , V_b 등 다양한 단자(V_b)에 연결될

수 있다. 연구에서는 푸시풀 컨버터의 중성점 단자에 연결하였다. V_b 는 앞단의 벡 컨버터의 출력에 의해 결정되며, 벡 컨버터에 의해 연료전지 최소전압으로 제어한다. 따라서 V_b 는 항상 일정전압이 되어 콘덴서 V_{c5} 전압은 그림 8과 같이 V_b 전압으로 들 수 있다. 제안된 ZVS, ZCS용 푸시풀 컨버터의 동작모드는 6개의 동작 모드로 구분할 수 있다.

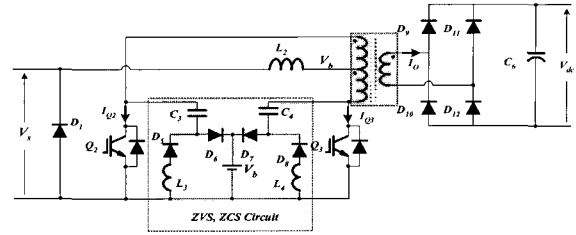


그림 8 제안된 연료전지용 DC/DC 전력변환기의 구성
Fig. 8 Proposed DC/DC converter for fuel cells

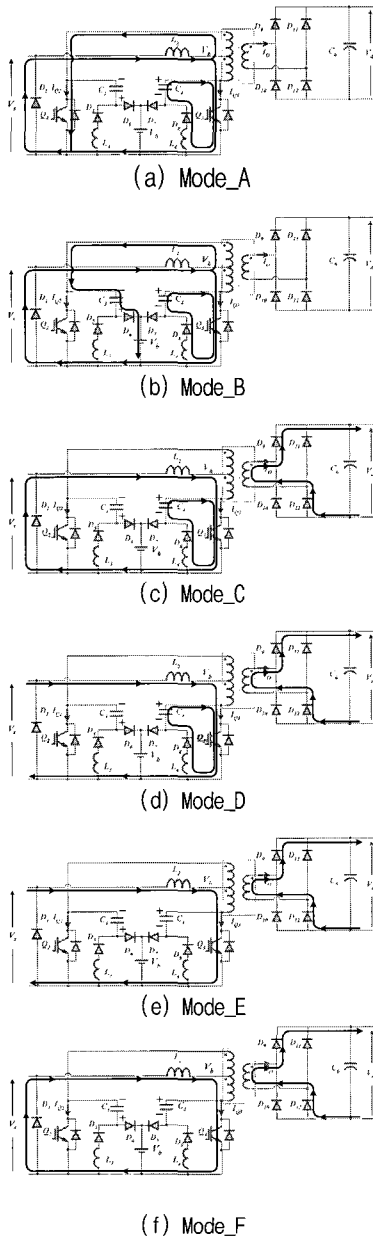


그림 9 제안된 ZVS용 푸시풀 컨버터의 동작모드
Fig. 9 Topological states of the proposed push pull converter with ZVS

2.2.1 Mode A ($t_0 \sim t_1$)

푸시풀 컨버터의 Q_2 스위치신호가 on 상태에서 Q_1 스위치 신호가 on되는 시점부터 시작되며, 그림 9(a)와 같은 전류 루프를 형성한다. 변압기 1차 측 양 권선이 단락되는 상태가 되어 푸시풀 컨버터의 2차 측 전류는 zero가 된다. 또한 양의 극성으로 충전되어 있던 보조 회로의 콘덴서 전압(V_{C4})은 $C_4-Q_3-L_4-D_4$ 를 루프를 통한 공진회로가 형성되어 스위치 소자의 off시 ZVS를 위해 식 (1)과 같이 전류에 의해 부의 전압($-V_b$)으로 충전된다.

$$i_{c4} = \frac{V_{C4}(0)}{Z_0} \sin(\omega_n t) \tag{1}$$

$$\text{단, } Z_0 = \sqrt{\frac{L_4}{C_4}}, \omega_n = \frac{1}{\sqrt{L_4 C_4}}$$

벡 컨버터의 인덕턴스가 변압기의 누설 인덕턴스 보다 상당히 크다면 벡 컨버터의 인덕턴스의 전류는 일정 전류 원으로 볼 수 있다. 따라서 변압기 일차 측 전류는 벡 컨버터의 인덕턴스의 전류의 절반씩 흐르는 방향으로 동작한다. 이는 스위치 off시의 전류를 적게 하여 스위치 과도상태의 손실을 저감할 수 있는 장점이 있다. 전류의 증가율은 누설인덕턴스에 의해 결정되며, 변압기의 누설 인덕턴스에 의해 스위치 on시 ZCS가 이루어진다.

2.2.2 Mode B ($t_1 \sim t_2$)

이 모드는 푸시풀 컨버터의 Q_2 스위치 신호가 off 함으로 이루어지며, 그림 9(b)와 같은 전류 루프를 형성한다. 스위치 소자에 흐르는 전류(I_{Q2})는 바로 zero가 되나, 스위치 off를 한 푸시풀 컨버터용 변압기의 1차 측 전류는 ZVS를 위해 부의 전압으로 충전된 콘덴서 (V_{C3}) 전압은 $C_3-D_6-V_b$ 를 통한 전류 루프를 형성함으로써 식(2)와 같이 D_6 전류에 의해 콘덴서 전압은 정의 전압으로 변하게 되며, 스위칭 소자에 인가되는 전압은 zero가 되어 스위치 off시 ZVS가 행하여진다.

$$i_{c3} = I(0) \cos(\omega_n t) \tag{2}$$

$$\text{단, } \omega_n = \frac{1}{\sqrt{L_s C_3}}$$

L_s : 푸시풀 컨버터의 누설인덕턴스

2.2.3 Mode C ($t_2 \sim t_3$)

이 모드는 스위치 off시 ZVS를 위해 콘덴서(C_3) 전류가 zero가 되는 시점부터 시작되며, 그림 9(c)와 같은 전류 루프를 형성한다. 이때 푸시풀 컨버터용 변압기의 1차 측 두 권선 중에 한 권선에만 전류가 흘러 1차 측 에너지가 2차 측으로 전달되며, 이 모드는 매우 짧게 존재함으로 해석상 무시하여도 무관하다.

2.2.4 Mode D ($t_3 \sim t_4$)

이 모드는 앞단의 벡 컨버터의 Q 스위치 신호가 on함으로 이루어지며, 그림 9(d)와 같은 전류 루프를 형성한다. 이때 입력단의 전력이 출력 단으로 전달되며, 푸시풀 컨버터용 변압기의 1차 측 권선에 흐르는 전류의 기울기는 벡 컨버터 출력 측에 연결되어 있는 인덕터(L_2)에 의해 결정되어 진다.

2.2.5 Mode E ($t_4 \sim t_5$)

이 모드는 Mode A에서 시작한 보조 회로의 콘덴서 전압(V_{c4})가 Q_3 - L_3 - D_8 를 루프에 의한 공진이 완료되는 시점에서 이루어지며, 그림 9(e)와 같은 전류 루프를 형성한다. 모드가 시작되기 전에 스위치를 off를 행하면, ZVS 실패로 이어진다. 따라서 이 모드의 시작점은 ZVS를 위한 최소 시비율을 결정하는 요소가 된다.

2.2.6 Mode F ($t_5 \sim t_6$)

이 모드는 앞단의 벡 컨버터의 Q 스위치 신호가 off함으로 이루어지며, 그림 9(f)와 같은 전류루프를 형성한다. 이 모드는 앞단의 벡 컨버터의 스위칭 주파수가 푸시풀 컨버터의 스위칭 주파수의 두 배가 되고, 두 전력변환기 간의 스위칭이 동기가 이루어지는 상태에서 발생한다. 이러한 조건으로 스위칭을 행할 경우 푸시풀 컨버터의 변압기 1차 측 전류 리플이 절반으로 줄게 되어, 변압기의 용량 증대와 스위칭 소자의 전류 감소를 갖는 장점이 있다.

그림 10은 앞에서 설명한 수동 보조 회로에 의한 제안된 ZVS, ZCS용 푸시풀 컨버터의 스위칭 신호와 동작 파형을 나타낸 것이다.

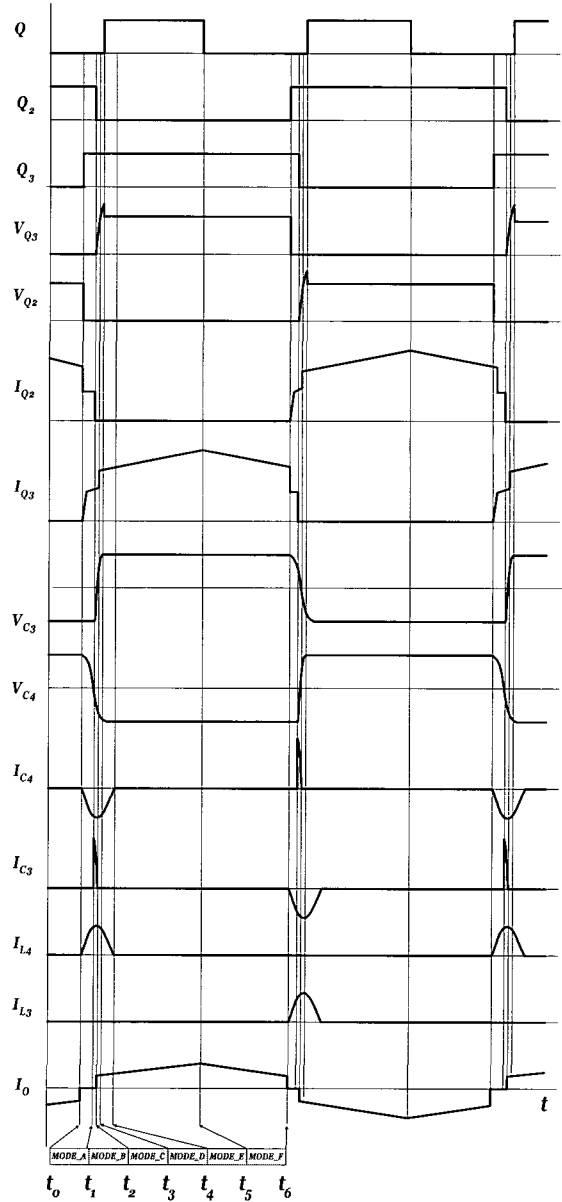


그림 10 스위칭 신호 및 동작파형

Fig. 10 Switching sequence and representative wave forms

그림 11은 기존의 푸시풀 컨버터 경우의 출력전류 (I_o)파형과 제안된 컨버터 경우의 출력전류를 나타내고 있다. 기존의 경우 부스터를 위해 푸시풀 컨버터의 두 스위치를 동시에 on시 부스터용 인덕터에 에너지를 축적하는 모드가 되어, 변압기 2차측 전류는 zero가 되어 그림 11(a)와 같이 출력전류가 불연속이 된다. 제안된 컨버터에서는 푸시풀 컨버터의 두 스위치를 동시에 on하는 구간이 매우적어 컨버터의 변압기 2차측 전류는 그림 11(b)와 같은 파형을 형성한다.

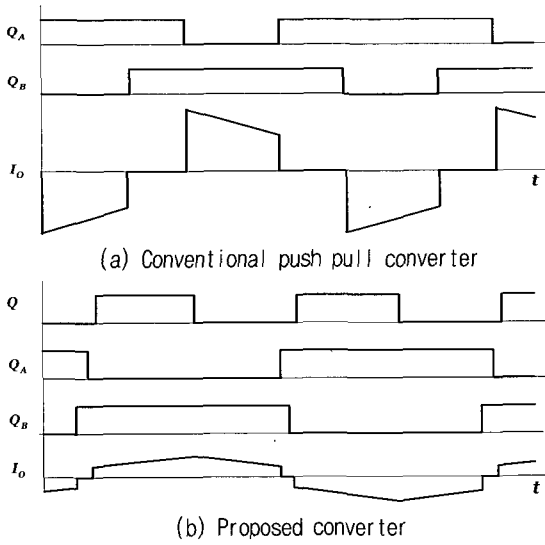


그림 11 기존의 푸시풀 컨버터 및 제안된 컨버터의 출력전류
 Fig. 11 Output Current of the conventional push pull converter and proposed converter

출력전압 및 전력이 일정할 경우 제안된 컨버터의 전류 피크치가 기존의 푸시풀 컨버터의 출력전류에 비하여 적게 되며, 그 값은 컨버터의 인덕터 및 시비율에 의해 결정된다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

본 연구에 사용된 연료전지용 전력변환기의 사양은 표 1과 같다.

표 1 연료전지용 전력변환기 사양
 Table 1 The parameters of the power system for fuel cells

Rated power	1.2 [kW]
Operating voltage range of fuel cell	66-150[V]
Buck, push pull switches	IRFP90N20D
Buck, push pull diodes	APT100S20B
Inverter switches	SPW47N60C3
Switching frequency of the buck converter	36[kHz]
Switching frequency of the push pull converter and inverter	18[kHz]
Duty of the buck converter	0-0.9
L4	200[uH]
L1	20[uH]
C1,C2	15[nF]
L2,L3	40[uH]
C3,C4	22[nF]
Winding ratio of the transformer	1:6

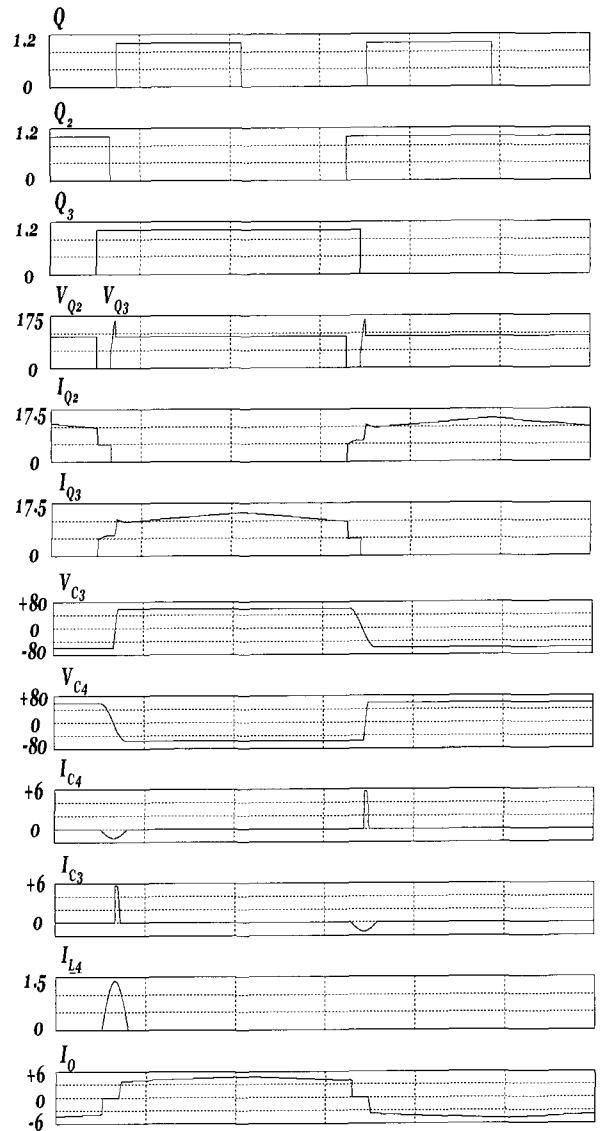


그림 12 시뮬레이션결과 파형
 Fig. 12 Result wave forms of the simulation

그림 12는 2단 방식 절연형 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션 결과이며, 제안된 이론과 일치함을 알 수 있다. 그림 13은 연계형 연료전지 전력변환기의 제어 블록도를 나타낸다. 전체 시스템의 제어는 TMS320F2812를 이용하였다. 연료전지 DC 출력으로부터 AD 컨버터를 통해 입력된 신호와 제어 신호에 의해 PI 제어를 통한 최대 출력 제어를 수행하게 된다. 또한 제어기의 포화현상을 방지하기 위해 anti windup 기능을 추가하여 형성된 PWM11 신호를 감압 컨버터에 인가하였다. 계통 전압과의 동위 상을 이루기 위해 capture 기능을 이용하여 단위역률로 일정전력을 공급하게 하였다.

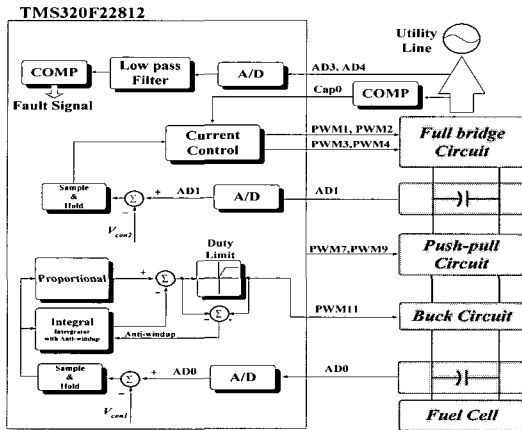


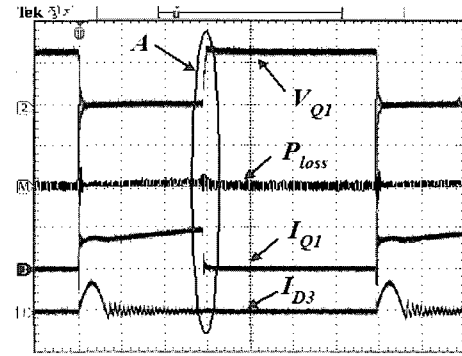
그림 13 전체 제어블록도
Fig. 13 Control block diagram



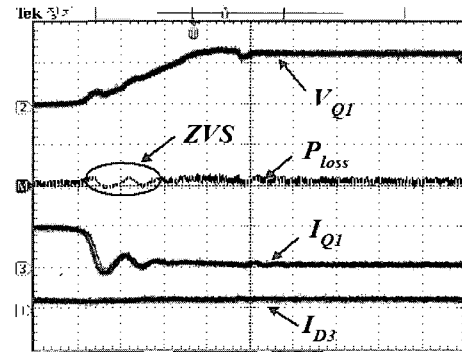
(b)

그림 14 개발된 DC/DC 컨버터
Fig. 14 Developed DC/DC converter

그림 14는 개발된 DC/DC 컨버터를 나타내고 있다. 제어기는 DSP(TMS320F2812)를 사용하였다. 그림 14(a)는 개발된 연료전지용 전력 변환기의 내부 사진과 본 연구에서 제안된 ZVS, ZCS용 보조회로 사진을 확대하였으며, 그림 14(b)는 외부 사진을 나타내고 있다. 연료전지용 전력 변환기의 상태를 표시하기 위해 액정 LCD를 사용하였으며, LCD 인디케이터는 전원 연결 여부, 전력 변환기의 동작 여부, Fault 발생 여부를 표시하게 하였으며, 3개의 Key를 사용하여 제어기의 각종 세팅 Fault 및 operation 상태를 볼 수 있도록 하였다.

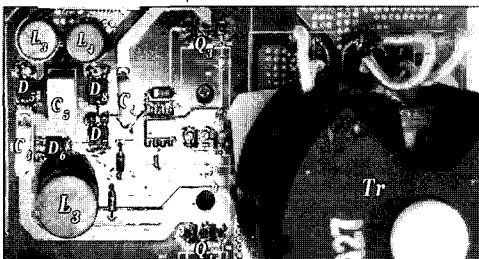
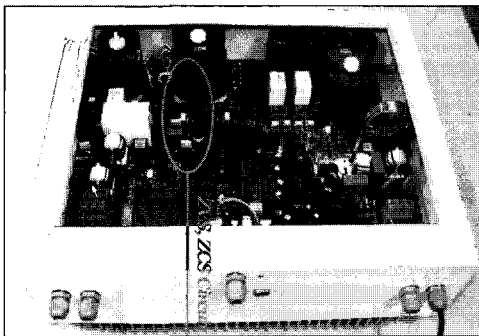


(a)



(b)

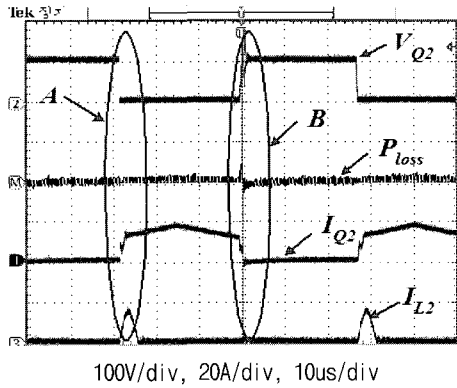
그림 15 ZVS용 DC/DC 컨버터의 각부 파형
Fig. 15 Wave forms of ZVS DC/DC converter



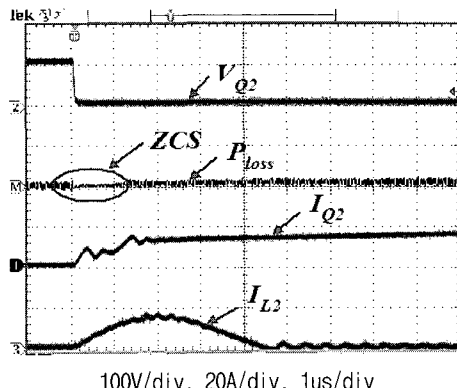
(a)

그림 15는 개발된 DC/DC 컨버터의 각부 파형을 나타내고 있다. 그림 15(a)는 개발된 DC/DC 컨버터의 스위칭 소자의 소스-드레인간 전압, 전류, 스위칭 소자

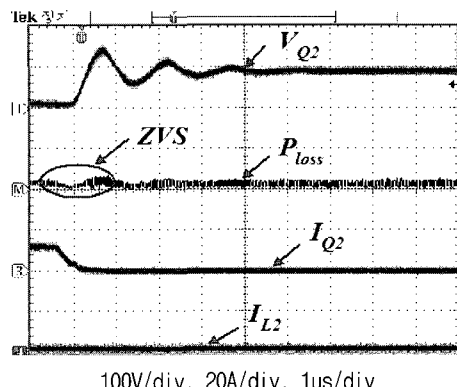
에서 발생하는 손실 및 보조 회로의 인덕터 전류를 나타내고 있으며, 그림 15(b)는 ZVS 동작 여부를 확인하기 위해 그림 15(a)를 확대한 파형이다. 그림 15(b)에서 보는 바와 같이 스위칭 전류가 소호된 이후에 스위칭 전압이 형성됨으로 스위칭 소자 off시 과도상태에서 전력 손실이 발생하지 않음을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 16 제안된 ZVS용 푸시풀 컨버터의 각부 파형
Fig. 16 Wave forms of the proposed ZVS DC/DC converter

그림 16은 개발된 푸시풀 컨버터의 각부 파형을 나타내고 있다. 그림 16(a)는 개발된 DC/DC 컨버터의 스위칭 소자의 드레인 소스 전압, 전력손실, 스위칭 소자의 드레인 소스 전압 전류, 보조 회로의 콘덴서 전류를 나타내고 있으며, 그림 16(b)는 ZCS 동작 여부를 확인하기 위해 그림 16(a)의 A부분을 확대한 파형이며, 그림에서 보는 바와 같이 스위칭 소자의 전압이 zero가 된 이후에 전류가 형성됨으로 ZCS 동작이 잘 이루어짐을 알 수 있다. 또한 스위칭 소자의 전력손실 파형에서도 소프트 스위칭 동작을 확인할 수 있다. 그림 16(c)는 ZVS 동작 여부를 확인하기 위해 그림 16(a)의 B부분을 확대한 파형이며 ZVS 동작이 잘 이루어짐을 알 수 있다.

실제 실험을 통해 얻은 결과 벽 컨버터와 푸시풀 컨버터의 총 효율이 약 91-92[%] 정도가 되며, 인버터는 98[%] 정도가 되어 총 효율은 약 90[%] 정도가 나오고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 연료전지 시스템 구성에 있어 저 입력 고 출력 전압 절연과 스위칭 손실 저감을 위해 제안한 수동 보조 회로에 의해 ZVS, ZCS가 가능한 푸시풀 컨버터를 제안하고, 푸시풀 컨버터 스위치의 정격 전압 저감을 위해 전압 평활용 콘덴서가 없는 벽 컨버터와 결합하는 구조를 취하였다. 제안된 푸시풀 컨버터에 비하여 벽 컨버터의 스위칭 주파수를 두 배로 동작하게 함으로서 푸시풀 컨버터의 전류 피크치를 줄일 수 있었다. 또한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다

참 고 문 헌

- [1] 장진수, 김진태, 이태원, 이병국 “능동 클램프 전류형 하프 브리지 컨버터를 적용한 연료전지 시스템”, 전력전자학회 논문지, 제10권, 제1호, pp. 78~86, 2005. 2.
- [2] 김은수, 박성수, 공영수, 최선호, 강도현, 조기연, 이진수 “탭-인덕터 적용 무 손실 스너버에 의한 소프트 스위칭 Buck 컨버터”, 전력전자 학술대회, pp. 133~ 136, 2002. 11.
- [3] Sung-chul kim, jum-moon park, Soon-kurl kwon, “A 10kw100khz ZVSWAC type DC-DC Converter with free-voltage AC-input for telecommunication system” INTELEC'96, pp. 805~812, October, 1996.
- [4] Michael J. Ryan, William E. Brumsickle, Deepak M. Divan, “A New ZVS LCL-Resonant Push-Pull DC-DC

- Converter Topology", IEEE Trans., Vol. 34, No. 5, pp. 1164~1174, September/October, 1998.
- [5] Andersen G.K, Klumpner C, Kjaer S.B. and Blaabjerg F, "A New Green Power Inverter For Fuel Cells", PESC 2002, IEEE 33rd Annual, Vol. 2, pp. 727~733, June 2002.
- [6] Lee-Hun Kim, Kwang-Su Chun, Chung-Yuen Won, Soo-Seok Kim, Se-Wan Choi, "An Improved Scheme for High-Efficiency Push-Pull Converter Using Single Winding Self-Driven Synchronous Rectification", IEEE 30th Annual, pp.999~1003, June/November 2 - 6, 2004.
- [7] Xiaolin Gao, Raja Ayyanar, "A High-Performance, Integrated Magnetics Scheme for Buck-Cascaded Push-Pull Converter", IEEE Power Elect., Vol. 2, No. 1, pp.29~33, March 2004.
- [8] Jeong-il Kang, Chung-Wook Roh, Gun-Woo Moon, Myung-Joong Youn, "Design of phase-shifted parallel-input/series-output dual inductor-fed push-pull converter for high-power step-up applications", IECON, IEEE 27th Annual, pp. 1249~1254. 2001.
- [9] C. M. C. Duarte, Ivo Barbi, "A New Family of ZVS-PWM Active-Clamping DC-to-DC Converters: Analysis, Design, and Experimentation", IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 12, No.5, September. 1997.
- [10] 서기영, 광동걸, 전중합, 이현우 "무손실 서너버를 이용한 부분공진 스위칭에 의한 고효율 승압형 단상 컨버터", 전력전자학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 315~322, 1998. 12.

저 자 소 개



손경종(孫敬宗)

1965년 1월 21일생. 1988년 조선대 전자공학과 졸업. 2003년 전남대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 박사과정 수료.



송성근(宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 졸업(석사). 2001년~2004년 (주)프로팜시스템 연구원. 현재 전남대 전기공학과 박사과정.



최준호(崔峻豪)

1970년 7월 30일생. 1996년 숭실대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 서울대 BK21 박사 후 연구원. 현재 전남대 전기공학과 조교수.



문채주(文彩株)

1959년 12월 26일생. 1981년 전남대 제어계측공학과 졸업. 1983년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1986년~1997년 8월 한국전력기술 책임연구원. 1997년~현재 목포대 전기공학과 부교수.



김광헌(金坑憲)

1960년 12월 27일생. 1983년 전남대 제어계측공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전남대 전기공학과 교수.



임영철(任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년 호주 모나시 대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 산업자원부 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 소장. 당 학회 부회장.