

새로운 능동 클램핑방식을 이용한 연료전지용 DC-AC 인버터의 특성 (Characteristic of Fuel Cell DC-AC Inverter Using New Active Clamping Method)

*김철용 · 조만철 · 문상필 · 김영준 · Mutsuo Nakaoka · §김홍삼
 경남대학교 · §(주)STX건설
 (*C.Y. Kim · M.C Cho · S.P. Mun · Y.J. Kim · Mutsuo Nakaoka · H.S. Kim)

Abstract

In the dissertation, a power conversion system for fuel cell is composed of a PWM inverter with LC filter in order to convert fuel cell voltage to a single phase 220[V]. In addition, new insulated DC-DC converters are proposed in order that fuel cell voltage is boosted to 380[V]. In this paper, it requires smaller components than existing converters, which makes easy control. The proposed DC-DC converter controls output power by the adjustment of phase-shift width using switch S5 and S6 in the secondary switch, which provides 93~97[%] efficiency in the wide range of output voltage. Fuel cell simulator is implemented to show similar output characteristics to actual fuel cell. Appropriate dead time t_d enables soft switching to the range where the peak value of excitation current in a high frequency transformer is in accordance with current in the primary circuit. Moreover, appropriate setting to serial inductance L_a reduces commutation loss arisen at light-load generator and serge voltage arisen at a secondary switch and serial diode. Finally, TMS320C31 board and EPLD using PWM switching technique to act a single phase full-bridge inverter which is planed to make alternating current suitable for household

1. 서론

최근 청정에너지로서 많은 주목을 받고 있는 연료전지는 다양한 연료를 사용할 수 있고, 저공해 특성을 가지고 있으며, 부하가 밀집된 대도시 혹은 변전소에 분산 설치가 용이하여 송전 손실을 줄일 수 있다. 그리고 운전중에 발생하는 열을 이용하여 열병합 발전이 가능하므로 가장 효율적인 차세대 에너지 전원으로 주목받고 있다. 일반적으로 연료전지용 전력변환기의 토폴로지는 연료전지의 출력전압, 용량 및 응용 분야에 따라 다양한 형태가 있다. 연료전지의 낮은 직류 전압을 인버터로 교류변환 후 변압기를 이용하여 승압하는 교류-교류 승압 방식은 비교적 높은 효율을 얻을 수 있지만 저주파 변압기를 사용하므로 무게와 부피가 커지며, 직류 전압을 조정하기 어려우므로 출력전압의 품질이 저하되는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 능동 클램핑(clamping)방법을 사용한 새로운 DC-AC 인버터를 제안하였으며, 인버터 및 연료전지 발전시스템을 안정적이고, 효율적으로 제어하기 위하여 마이크로프로세서는 TI(Texas Instrument)사의 부동 소수점 연산이 가능한 TMS320C31 DSP를 사용하여 실험하고자 한다.

2. 능동 클램핑방식을 이용한 DC-AC인버터

일반적인 연료전지용 DC-AC 인버터에서 발생하는 문제점들을 해결하기 위하여 새로운 연료전지용 DC-AC 인버터를 그림 1와 같이 제안하였다. 제안한 연료전지용

DC-AC 인버터는 일반적인 연료전지용 DC-AC 인버터의 고주파 변압기 2차측의 정류 다이오드 D_7 , D_8 에 각각 파워 반도체 스위치 S_5 , S_6 가 직렬로 접속된 구조로 되어 있다. 그리고 2차측 스위치 S_5 , S_6 의 게이트 펄스신호는 1차측과 동기화 하여 위상천이 폭을 조절함으로써 출력 전력을 제어하고, 1차측 스위치는 ZVS, 2차측 스위치는 ZCS를 실현할 수 있는 큰 특징을 가지는 회로이다.

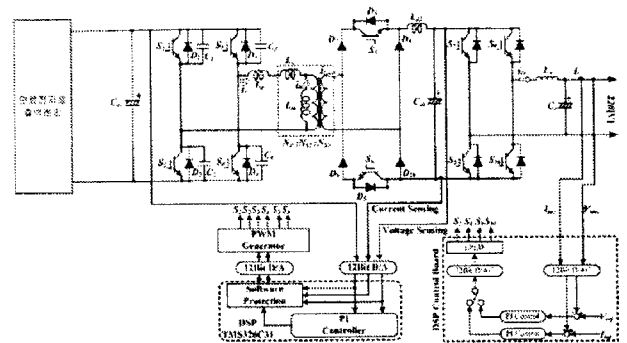


그림 1 제안한 연료전지용 DC-AC 인버터

그림 2는 제안한 연료전지용 DC-AC 인버터의 각부 전압과 전류의 파형을 나타낸 것이며, 각 모드 동작 회로와 동작원리는 그림 3과 같다. 본 연구에서는 TMS320C31 DSP 제어칩을 이용하여 풀-브리지 인버터를 구성하였으며, 풀-브리지 컨버터에 의해 승압된 직류전압을 스위칭 소자 내개를 브리지로 구성하여 상·하 압의 스위치를 번갈아 turn-on/off 시켜 단상 교류 전압(220[VAC], 60[Hz])으로 변환시켰다. 그리고 저역통과 L-C필터는 PWM 펄스의 고조파를 제거하고, 파형의 형태를 정현파로 만들어 주는 역할을 하므로 인버터는 부하의 임피던스에 비해 충분히 작은 값으로 선정하여 부하 임피던스를 2[%]로 하였다. 표 1

은 제안한 연료전지용 풀-브리지 PWM DC-AC 인버터의 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수를 나타낸 것이다. 그리고 실험에 사용된 스위치(S1~S6)는 IRFPS3810 (VDC=100[V], RDS= 0.009[Ω], IDS=170[A])을 사용하였으며, 정류 다이오드(D7~D10)와 환류 다이오드(D5, D6)는 FGF60BA6 (VRRM =600[V], ID=60[A]), 30JL2C41 (VRRM =600[V], ID=30[A])로 하였다.

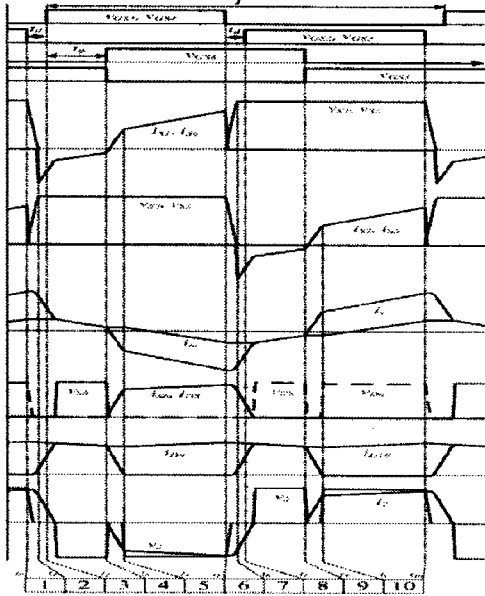
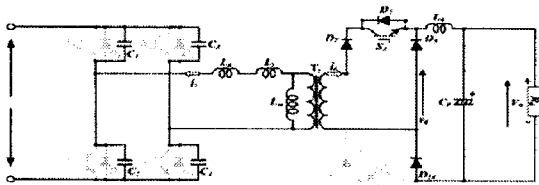


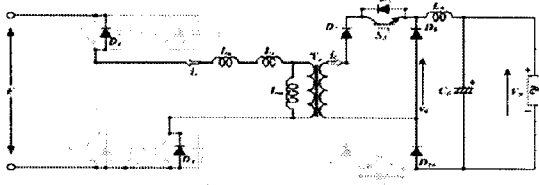
그림 2 제안한 DC-AC 인버터의 각부 전압과 전류동작 파형

표 1. 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수

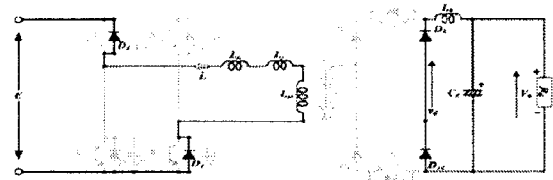
직류입력전압 (E)		280 [Vdc]	
스위칭주파수 (f)		100 [kHz]	
고주파변압기	형식 (Type)	X	Y
	권수비 (N1 : N2)	5 : 4	6 : 5
	여자 인덕턴스 (Lm)	40.22 [uF]	446.06 [uF]
	누설 인덕턴스 (Ls)	1.93 [uF]	0.19 [uF]
추가 직렬인덕턴스 (La)		3.00 [uF]	4.00 [uF]
무손실 스너버 커패시터 (C1~C4)		10 [nF]	7.2 [nF]
인버터부	출력전압	220 [Vac]	
	스위칭주파수	4.5 [kHz]	
	필터 (Lo)	855 [uH]	
	필터 (Co)	21.9 [uF]	
부하저항 (RO)		3.3 [Ω]	



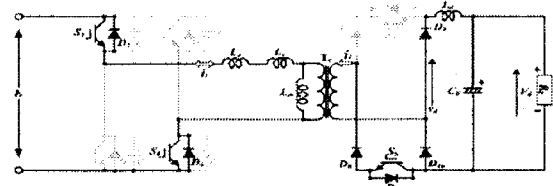
(a) 모드 1



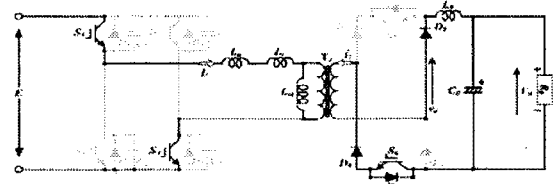
(b) 모드 2



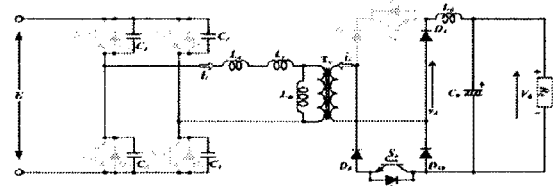
(c) 모드 3



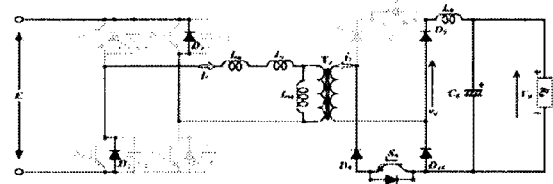
(d) 모드 4



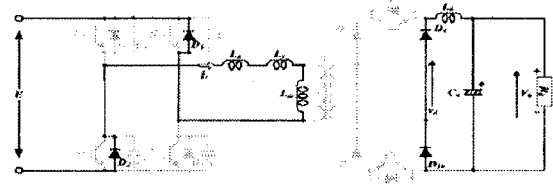
(e) 모드 5



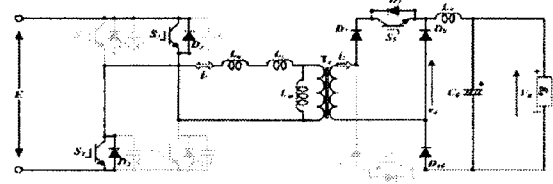
(f) 모드 6



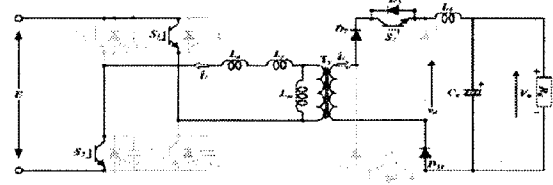
(g) 모드 7



(h) 모드 8



(i) 모드 9



(j) 모드 10

그림 4 각 모드별 동작원리 및 등가회로

3. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 연료전지의 전압과 전류의 실험 파형을 나타낸 것이며, 그림 6은 실험으로 측정된 연료전지 V-I 특성 곡선을 나타낸 것이다. 그림 5와 그림 6에서 알 수 있듯이 연료전지의 전압과 전류의 파형은 안전적으로 Ohmic 영역에서 동작되며, 시뮬레이션 파형과 거의 일치한다.

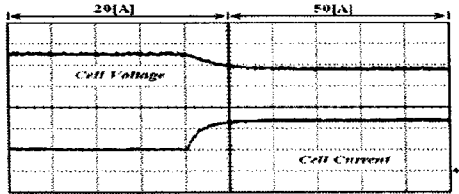


그림 5 연료전지의 전압과 전류의 실험 파형

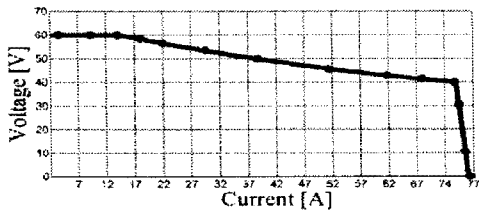
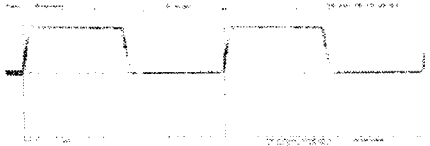
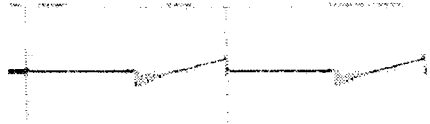


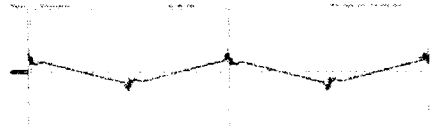
그림 6 연료전지의 V-I 특성 곡선



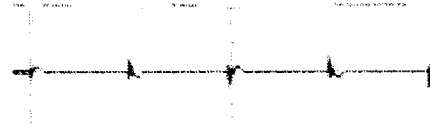
(a) 1차측 스위치 전압



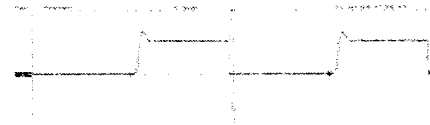
(b) 1차측 스위치 전류



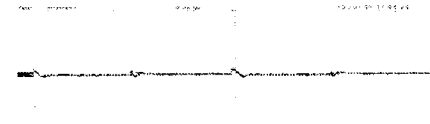
(c) 고주파 변압기 1차측 전류



(d) 고주파 변압기 2차측 전류



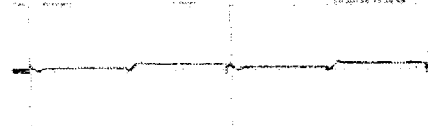
(e) 2차측 스위치 전압



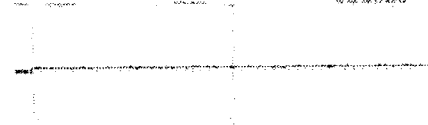
(f) 2차측 스위치 전류



(g) 2차측 환류 다이오드 전압



(h) 2차측 환류 다이오드 전류



(i) 출력 전압

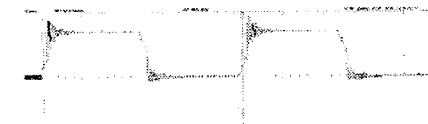


(j) 출력 전압 (교류분)

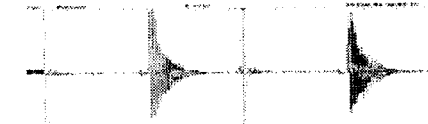
그림 7 유도계수가 작은 고주파 변압기를 사용했을 경우의 각부의 동작 파형(위상각 = 45°)

그림 7과 그림 8은 유도계수에 따른 각부의 실험 파형을 나타낸 것이다.

그림 8의 정상 동작 파형에서도 알 수 있듯이 충분한 데드 타임을 주지 않는 경우에는 하드 스위칭이 일어나며, 역도통 다이오드에 흐르는 전류가 진동하여 역도통 손실이 되어 DC-DC 컨버터 전체의 손실에 영향을 미치므로 회로정수 설정에 주의해야한다. 특히, 추가 직렬 인덕턴스 L_a 를 적절하게 설정하면 2차측 스위치에 대한 di/dt 가 작아져, 2차측의 스위치와 직렬 다이오드에 발생하는 서지 전압이 저감된다.



(a) 1차측 스위치 전압



(b) 1차측 스위치 전류



(c) 고주파 변압기 1차측 전류

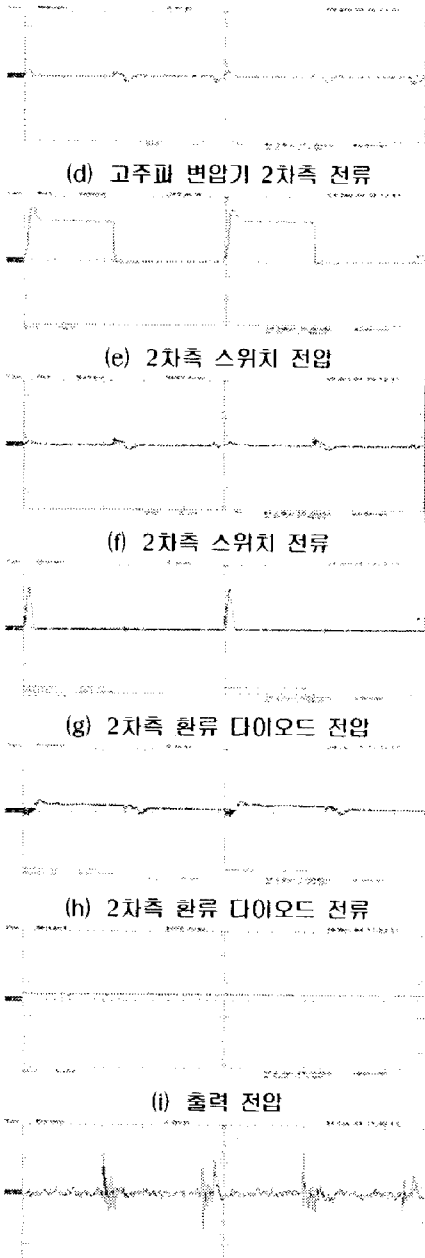


그림 8 유도계수가 큰 고주파 변압기를 사용했을 경우의 각부의 동작 파형(위상각 = 45°)

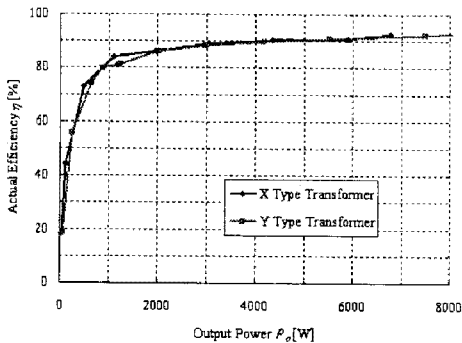


그림 9 고주파 변압기를 사용했을 경우의 효율 특성

그림 9와 그림 10에서 여자 인덕턴스가 큰 고주파 변압기(Y)에서는 저출력시에 여자 인덕턴스가 작은 고주파 변압기(X)에 비해 전력 효율이 저하되는 것을 알 수 있다. 이 회로의 전력 손실은 고주파 변압기 1차측 스위치의 무

손실 스너버 커패시터의 충·방전이 데드 타임 기간중에 행해지지 않고, 단락적으로 전하가 스위치에 방출되어 하드 스위칭 동작을 하기 때문이다.

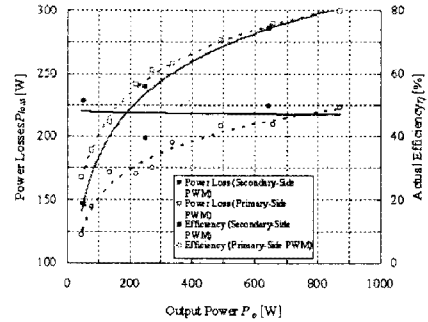


그림 10 고주파 변압기를 사용했을 경우의 손실 특성

4. 결론

본 논문에서는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 제안한 DC-DC 컨버터는 일반적인 연료전지용 DC-DC 컨버터의 2차측에 스위치 S_5 , S_6 를 추가로 구성하여 위상천이 폭을 조절함으로써 출력 전력을 제어하였다.

(2) 제안한 DC-AC 컨버터는 넓은 출력 전압 조정에도 불구하고 93~97%의 효율을 얻을 수 있으며, 출력 부하전류의 변화에 대해 거의 일정한 출력전압 특성을 얻을 수 있다.

(3) 일반적으로 고주파 변압기 여자 전류의 피크값과 고주파 변압기 1차측 전류가 일치하는 부분에서 여자 인덕턴스가 크게되어 제어 폭이 좁아지므로 소프트 스위칭이 곤란해지는 문제점이 발생하는데 이점을 개선하기 위하여 적절한 데드타임을 제어로 소프트 스위칭 기법을 실현하였다.

(4) 추가 직렬 인덕턴스를 적절하게 설정하여 2차측의 스위치와 직렬 다이오드에 발생하는 서지 전압을 저감하였으며, 부하전류가 감소하는 경우부시에는 누설 인덕턴스에 축적된 에너지를 증가시켜 귀환 전류에 의해서 발생하는 도통 손실을 저감시켰다.

References

- [1] Andrew Dicks, "Fuel Cell Handbook, sixth Edition" EG & G Technical Services Inc., May 2002.
- [2] Dachuan Yu, S Yuvarajan, "Modeling and Performance Studies of a Fuel Cell Powered Boost Converter", Proceeding of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol.2, pp.713~717, 2004.
- [3] R. J. Wai and R. Y. Duan, "High-Efficiency Power Conversion for Low Power Fuel cell Generation System", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol.20, No.4, pp.847~856, 2005.
- [4] M. Michon, J. L. Duarte, M. Hendrix, "A three-port bi-directional converter for hybrid fuel-cell system", Conf. Rec. of IEEE PESC, pp.4736~4742, 2004.
- [5] Y. J. Song, "A High Frequency Link Direct DC-AC Converter for Residential Fuel Cell Power Systems", Conf. Rec. of IEEE PESC, pp.4755~4761, 2004.
- [6] Dachuan Yu and S. Yuvarajan, "A Novel circuit model for PEM Fuel Cells", Conf. Rec. of IEEE PESC, pp.362~366, 2004.
- [7] T.W.Lee, S.J.Jang, H.K.Jang and C.Y.Won, "A Fuel Cell Generation System With a Fuel Cell Simulator" JOURNAL OF POWER ELECTRONICS, Vol.5, No.1, pp.55~61, 2005.