

### 3kW급 주택용에 사용되는 저가의 연료전지용 인버터 시스템 - 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터 설계 및 제어

이수호, 조만철, 황금득, 문상필, 서기영, 권순걸  
경남대학교

## Development of the 3kW Class Low Cost Fuel Inverter System for Residential Power Generation

### -DC-DC Converter Design and Control for Fuel Cell System

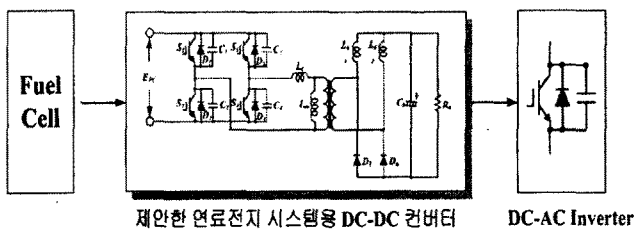
S.H. Lee·M. C. Cho·G. D. Hwang·S.P. Mun·K.Y. Suh·S.K. Kwon  
Kyungnam University

**Abstract** - 본 논문은 3[kW]급 연료전지와 연료전지의 저전압(40~60[Vdc])을 승압(380Vdc)하기 위한 풀-브리지 DC-DC 컨버터, 그리고 승압된 링크전압을 교류 상용전압(220[Vac], 60[Hz])으로 변환하기 위한 단상 풀-브리지 인버터로 구성된 연료전지 발전용 전력변환 시스템 중 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터는 변압기 2차측에 배전류 정류 회로를 삽입하여 기존의 고주파 변압기 보다 간단하면서 무게 및 부피를 줄였다. 그리고 위상 천이 PWM 제어로 출력 전압을 가변시켜 영전압 스위칭을 달성 함으로써 스위칭 손실을 줄였으며, 효율을 95%이상 달성 하였다.

#### 1. 서 론

최근 급속한 산업 발달과 생활수준의 증대로 인하여 전력 소비가 점차적으로 증대하고 있다. 이러한 전력 소비의 급증은 화석연료의 의존도가 높은 우리나라의 경우 국제환경 규제에 의한 온실가스 배출량의 감축 및 동결로 인한 산업활동의 위축을 가져오게 한다. 그래서 신재생 에너지의 개발이 큰 관심이 되고 있다. 신재생 에너지를 이용한 새로운 발전 방식중 비교적 용량이 작은 발전설비는 태양광 발전, 풍력발전, 연료전지발전 등이 있고 그중 청정 에너지원으로서 많은 주목과 연구의 대상으로 연료전지를 들 수 있다. 연료전지는 저전압 대전류의 특성을 지니고 부하에 따라 전압이 크게 변동하는 특성을 가지므로 기존의 DC-DC컨버터나 범용 인버터로는 연료전지를 위한 전력변환장치의 효율을 만족시키기 어렵다. 전력변환장치의 효율이 낮아지면 전단의 스택 및 개질기의 용량이 커져야 하며 전체 연료전지 시스템의 부피가 커지게 되고 가격을 상승하게 한다. 계통 연계 또는 독립 운전으로 동작하는 경우 상용 전압을 만들때 연료전지의 저전압의 특성에 의하여 승압형 컨버터의 개발을 필요로 하고 있다. 본 논문은 연료전지시스템용 DC-DC 컨버터를 제안하여 위상 천이 PWM 제어로 출력 전압을 변압시키고 영전압 스위칭을 달성 하여 스위칭 손실을 줄이려 한다. 또한 배전류 정류기를 변압기 2차측에 사용하여 고주파 변압기의 사양을 보다 간단하게 하며 변환장치의 무게와 부피를 줄이고자 한다.

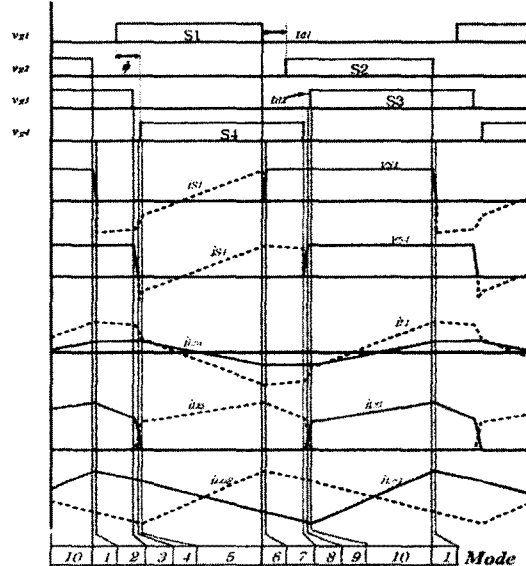
#### 2. 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터



<그림 1> 연료전지용 전력변환장치

그림 1은 연료전지용 전력변환장치를 나타낸 것이다. 이 중에서 본 논문은 DC-DC 컨버터 부분을 제안하였다. 제안한 DC-DC 컨버터는 전력을 반도체 스위치 각각에 ZVS용 무손실 커패시터를 병렬 접속한 풀 브리지형으로 구성하였고 모든 스위치는 지연시간을 포함해 반주기동안 턴 온 하고, 스위치 제어 신호는  $S_{11}$ 를 턴-온 하여 임의의 위상 차이를 두고  $S_{12}$ 를 턴-온 하여 출력전력을 얻는 위상천이 PWM 제어를 한다. 스위치  $S_2$ 와  $S_3$ 는 스위치  $S_1$ 과  $S_4$ 와 반대의 주기에 턴-온 신호를 인가한다. 이 제어법을 이용하여 부분 공진에 의한 ZVS를 실현하여, 일정 스위칭 주파수와 및 전력 반도체 소자의 스위칭 손실이나 피크 전압·전류의 저감을 피할 수 있다. 변압기는 피로의 해석을 간단하게 하기 위해 누설 인덕턴스  $L_s$ , 여자 인덕턴스  $L_m$  및 권수비  $n(=N_{S2}/N_{S1})$ 의 고주파 변압기로 역L자형 등가 회로로 구성한다. 고주파 변압기에 의해 전달된 전압·전류는 출력 인

버터를 2개 사용 한 배전류 정류기 및 출력 커패시터에 의해 평활 되어 출력 저항에 직류의 전압·전류를 공급한다. 그림 2는 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터의 게이트 신호를 포함한 동작 파형을 나타내고 있으며 그림 3은 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터의 모드 등가 회로를 나타낸 것이며, 동작 원리를 설명하면 다음과 같다. 모드 천이 설명은 스위치  $S_2$ 와 스위치  $S_3$ 가 모두 온 상태로서 부하에 전력을 공급하는 Mode10 이후에서부터 동작 설명을 시작한다.



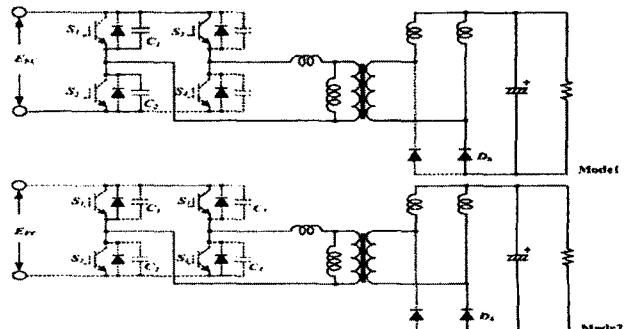
<그림 2> 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터의 동작 파형

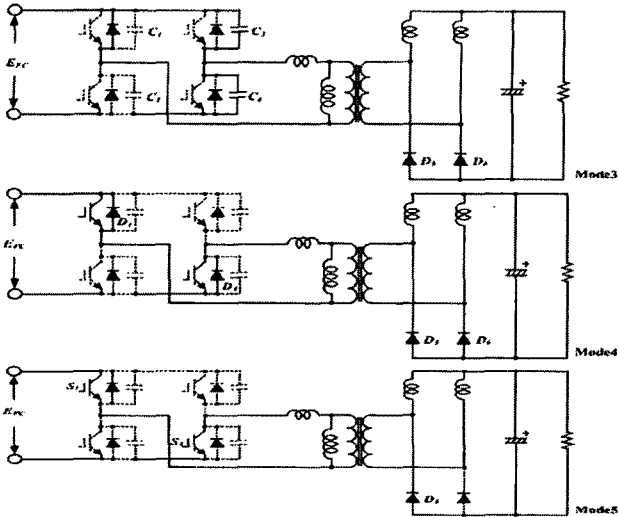
#### Mode1

Mode10이후 스위치  $S_2$ 를 턴-오프 하는 모드이다. 이때 인버터 출력 전류에 의해, 커패시터  $C_1$ 이 방전되고  $C_2$ 가 충전된다.

#### Mode2

위상 전상상태에서 스위치의 전환이 완료되면 커패시터  $C_1$ 에 흐르고 있던 전류는 다이오드  $D_1$ 을 통해 전류(轉流)하여 전류(電流)환류한다. 이때 다이오드  $D_1$ 이 도통 될때 스위치  $S_1$ 을 턴-온 하여, ZVS 및 ZCS 턴온을 달성한다. 이 기간동안 인버터부에는 ZVS, ZCS를 달성하기 위한 순환 전류가 흐르고 있어 소프트 스위칭을 이루기 위한 순환 전류가 흐른다. 또한 정류부에서는 전류 평활을 위한 순환 전류가 흐르는 상태가 된다.





〈그림 3〉 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC컨버터의 동작회로

**Mode3**

전류 환류 기간동안 스위치  $S_3$ 를 턴-오프 하여 ZVS 전환 기간이 된다. 이때의 인버터 출력 전류에 의해 커패시터  $C_3$ 가 충전되고  $C_4$ 가 방전된다. 모드 3이 되면 변압기 2차측 전압은 0이 되어 단락으로 간주 할수 있다. 커패시터  $C_3$ 충전 및  $C_4$ 방전 완료 후 스위치  $S_4$ 를 턴온 하여  $S_4$ 의 ZVS, ZCS 턴온을 달성한다.

**Mode4**

커패시터  $C_3$ 와  $C_4$ 가 충전되는 모드이다. 이 때,  $C_4$ 에 흐르는 전류는 다이오드  $D_4$ 로 전환되고,  $D_4$ 가 도통되고 있는 상태에서 스위치  $S_4$ 는 ZVS, ZCS로 턴-온 된다.

**Mode5**

다이오드  $D_6$ 으로부터  $D_5$ 로 전환이 끝나면 전원으로부터 부하에 전력이 공급되는 모드이다. 이 기간을 듀티비에 의해 조절하는 것으로, 임의의 출력전압을 얻을 수 있다.

**3. 실험 결과 및 고찰**

〈표 1〉 실험에 사용된 회로 정수

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| 입력 전압( $E_{FC}$ )             | DC37-60[V]  |
| 정격출력 ( $P_{out}$ )            | 3.0[kw]     |
| 스위칭 주파수 ( $f_s$ )             | 40[kHz]     |
| 스위치                           | 2in1IGBT 모듈 |
| 무손실 스너버 커패시터( $C_1$ - $C_4$ ) | 18[nF]      |
| 정류 다이오드                       | USR120PP6A  |
| 여자 인덕턴스( $L_m$ )              | 2.42[mH]    |
| 누설 인덕턴스( $L_l$ )              | 10[uH]      |
| 평활 인덕터( $L_{01}, L_{02}$ )    | 50[uH]      |
| 평활 커패시터( $C_0$ )              | 1.2[mF]     |
| 고주파 변압기                       | 권수비-1:10    |
| 출력 전압                         | 311[V]      |

표 1은 제안한 DC-DC 컨버터의 실험에 사용된 회로 정수를 나타낸 것이다. DC-DC 컨버터회로의 제어시스템은 원칩 위상 시프트 PWM의 전압 구동 신호를 만드는 ML4828로 구성 하였다.

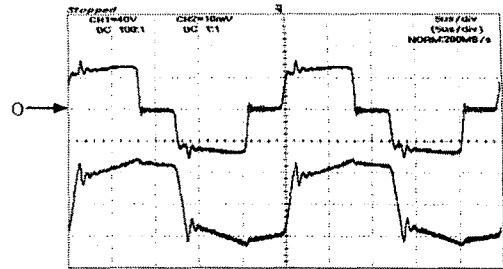
그림 4은 변압기 1차측 전류전압 파형을 나타내고 있고 그림 5는 변압기 2차측 전류전압 파형을 나타내고 있다. 그림 6은 다이오드  $D_6$ 의 파형을 그리고 그림 7은 출력 인덕터  $L_{01}$ 파형을 나타내고 있다. 그림 5과 그림 6에서 알수 있듯이 배전류 정류기의 효과에 의해 변압기2차측 전류의 실효치가 부하 전류의 반이 되고 있음을 확인할 수 있다.

**4. 결 론**

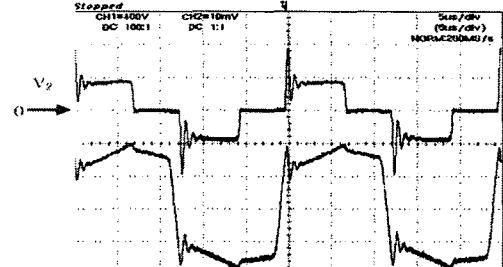
본 논문에서는 위상 천이 PWM 제어를 사용하여 소프트 스위칭을 달성하였으며, 변압기 2차측에 인덕터 2개를 사용한 정류방식을 사용하여 변압기 2차측의 전류가 부하 전류의 반으로 되는 새로운 방식을 제안하여 변환장치의 무게와 부피를 줄였다. DC-DC 컨버터의 효율은 95[%]를 얻었다.

감사의 글

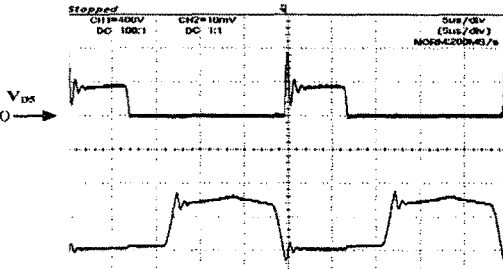
이 논문은 2006학년도 경남대학교 부설연구소 인구비 지원에 의한 것임



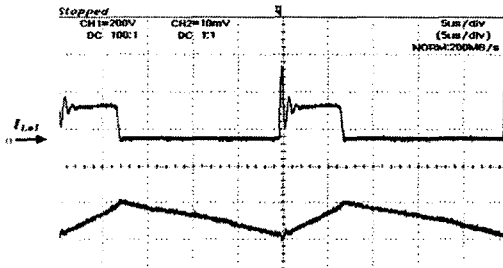
〈그림 4〉 변압기 1차측 전압 전류 파형 (40V/div), (100A/div)



〈그림 5〉 변압기 2차측 전압 전류 파형 (200V/div), (20A/div)



〈그림 6〉 정류다이오드 전압, 전류 파형 (400V/div), (10A/div)



〈그림 7〉 출력 인덕터 전압, 전류 파형 (200V/div), (10A/div)

[참 고 문 헌]

- [1] J. A Sabate, V.Vlatkovic, R. B. Ridley, F.C. Lee, B.H. Cho, "Design Considerations for High-Voltage High Power Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter", IEEE APEC Conf. pp.275-284, 1990
- [2] Wang, J. Peng, F.Z, Anderson, J, Joseph, A, Buffenbarger, R, "Low cost fuel cell inverter system for residential power generation", APEC Vol.104, pp.367-373, 2004
- [3] G.Hua, F.C.Lee and M.M.Jovanovic "An improved Zero-Voltage-Switched PWM Converter Using a saturable Inductor", Proceedings of IEEE PESC, pp.189-194, 1991
- [4] 김호용, 김재연, 김용상, 이승재, "분산형전원의 배전계통도입전망과 대책", 전기학회지, 제45권, 10호, pp.23-31, 1996.
- [5] 최세완 "연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회지, 제8권, 제4호, pp.30-35, 2003.
- [6] Xinbo Ruan, Jiangang Wang, Qianhong Chen, " An Improved Current-Doubler-Rectifier ZVS PWM Full-Bridge Converter", PESC. Vol 4, pp.1749 ~ 1754, 2001