

연료전지 계통 연계형 고효율 DC-DC 컨버터

오은태, 채형준, 유광민, 윤수영, 이윤재, 이준영, 한병문
명지대학교

High-efficiency DC-DC Converter for Fuel cell with Interconnection

Eun-Tae Oh, Hyung-Jun Chae, Gwang-Min You, Soo-Young Yoon, Yoon-Jae Lee, Jun-Young Lee, Byung-Moon Han
Myongji University

Abstract - 최근 화석에너지원의 고갈과 고유가 및 지구 온난화 방지를 위해 국가별로 이산화탄소 배출량을 규제하기 시작하면서 신재생 에너지의 계통연계 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 연료전지가 한 부분을 차지하고 있으며, 연료전지는 친환경적이고 효율적인 에너지원으로서 근 미래의 새로운 대체 에너지로서 각광 받으며 여러 분야의 전기장치로 사용될 수 있다. 연료전지는 낮은 출력전압과 높은 출력전류를 갖는 특징이 있으며 부하에 따라 출력전압이 변화하는 특성이 있기 때문에 연료전지의 계통연계를 위해서는 다양한 부하조건에서 연료전지와 연동된 승압형 컨버터의 제작이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 연료전지의 계통연계를 위한 고효율 DC-DC컨버터를 제안하였고, 1.2kW용량의 연료전지 스택(Stack)과 연계한 실험을 통하여 그 유용성을 입증하였다.

1. 서 론

최근 심각한 환경오염과 에너지 자원의 고갈에 대한 문제가 심각하게 대두되면서 새로운 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 친환경적이고 효율적인 에너지원인 연료전지는 대체 에너지로써 각광받아 많은 연구와 개발이 진행되고 있다. 이러한 연료전지는 저전압, 대전류의 특징을 갖고 있어 상용전원으로 사용하기 위해서는 저전압을 고전압으로 변환하는 승압형 컨버터와 승압된 전압을 상용전원으로 바꿔주는 인버터의 연계가 필요하다. 연료전지는 부하에 따라 변동 폭이 크므로 출력 Regulation이 용이 해야 하며 안전과 노이즈 차단 등을 위해 연료전지와 부하사이에 절연이 필요하다. 본 논문에서는 위의 사항뿐만 아니라 높은 효율, 높은 전력밀도를 갖는 승압형 컨버터에 관한 연구를 하였다. 기존의 연료전지용 승압형 컨버터는 위상천이 방식 Full-Bridge converter나 Current-fed Converter 등이 있다. 하지만 위상천이 방식 Full - Bridge converter는 제어방식이 복잡하고 출력 정류기 전압 스트레스가 문제 될 뿐 아니라 큰 입력 맥동전류가 흐르는 단점을 지니고 있다. 또한 Current fed Full-Bridge converter는 스위칭 소자가 큰 전류, 전압 스트레스를 부담해야하는 단점이 있다. 이러한 기존방식의 단점들을 보완하기 위해 새로운 방식들을 적용한 컨버터들이 개발되었고 현재도 많은 연구가 계속 진행되고 있다.

본 논문에서는 기존의 방식이 가지는 단점을 보완한 방식중 하나로써 저전압을 승압시키는 부스트 컨버터와 전기적인 절연과 동시에 효율적인 에너지전달을 위한 LLC 하프브리지를 연계한 이단으로 구성된 연료전지용 DC-DC Converter를 제안한다. 제안한 컨버터는 공진을 이용하여 소프트 스위칭 동작을 하므로 효율이 높으며 부스트 컨버터만을 제어하여 출력전압을 일정하게 유지시켜 제어가 간단한 장점이 있다.

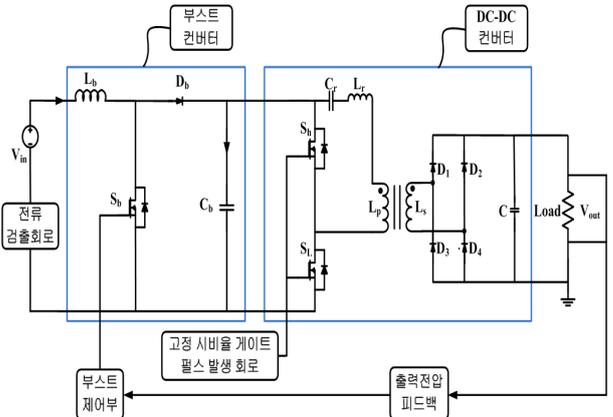
2. 본 론

2.1 제안한 1kW급 DC-DC 컨버터

본 논문에서 제안한 고정 시비율 방식의 컨버터는 1kW급 컨버터로 구성은 <그림 1>과 같이 부스트 컨버터, DC-DC 컨버터, 부스트 컨버터 제어부 및 고정 시비율 게이트 펄스 발생 회로, 전류검출 회로로 구성된 two stage 컨버터 구조로 되어 있다.

제안한 컨버터는 Fuel cell로부터의 낮은 전압을 부스트 컨버터에서 일정 전압으로 승압 시킨 뒤 DC-DC컨버터에서 권수비에 의해 최종 출력전압을 얻는 방식이다. 보호회로로 트랜스포머 전단의 회로에 과전류가 흐르는 것을 방지 하기위해 전류센서를 이용한 전류 검출회로를 부착하였다. 제안한 회로는 간단한 방식으로 출력전압 및 회로의 과전류를 제어하는 부스트 컨버터와 공진네트워크를 구성해 반도체 소자의

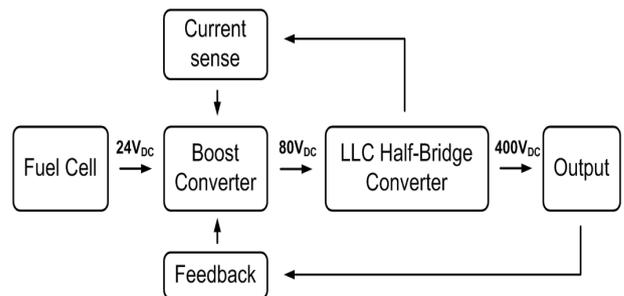
소프트 스위칭 동작을 가능하게 함으로서 스위칭 손실을 저감시켜 효율의 향상뿐만 아니라 고정 시비율로 동작하여 회로의 최적화가 가능한 LLC 하프브리지 컨버터를 사용하여 보다 안정적으로 에너지를 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다.



<그림 1> 제안한 2단 방식의 컨버터

2.2 시스템의 구성

컨버터 전체 시스템의 구성은 고정 시비율로 동작하는 LLC 컨버터 앞단에 출력전압을 제어하는 Boost컨버터가 위치하는 형태이다. 회로의 입력전압은 연료전지의 특성에 따라 24~48V로 가변될 수 있으며, 이 전압은 Boost컨버터를 통해 80V로 승압된다. 여기서 Boost 컨버터의 출력을 80V로 설정한 이유는 Boost 컨버터의 손실을 최소화 하는 동시에 LLC공진컨버터에 사용되는 MOSFET선정을 고려하여 정한 값이기 때문이다. Boost 컨버터를 통해 승압된 전압은 LLC공진 컨버터를 통해 최종적으로 400V의 전압이 나오도록 설계하였다. 출력전압의 제어는 Boost 컨버터의 duty를 조절하여 제어하게 되고 과전류가 흘러 회로가 파괴되는 것을 방지 하기위해 과전류 보호 센서를 Boost 컨버터에 연계하였다. LLC공진 컨버터는 입력80V 출력 400V로 고정되기 때문에 duty의 변동이 없는 고정 시비율로 동작하게 되고 최적의 회로설계가 가능하다. 회로를 2단 방식으로 설계한 이유는 제어설계의 복잡성을 줄이고 회로가 갖는 스트레스를 분담하여 보다 높은 효율을 가지기 위해서이다.



<그림 2> 제안한 컨버터의 시스템 블록도

2.3 실험 결과 및 검토

앞에서 구성한 내용을 바탕으로 연료전지 계통 연계형 DC-DC컨버터를 제작하고, 실험을 통하여 회로의 유용성과 신뢰성을 입증하였다. 실험사양 및 설계사양은 다음의 표와 같다.

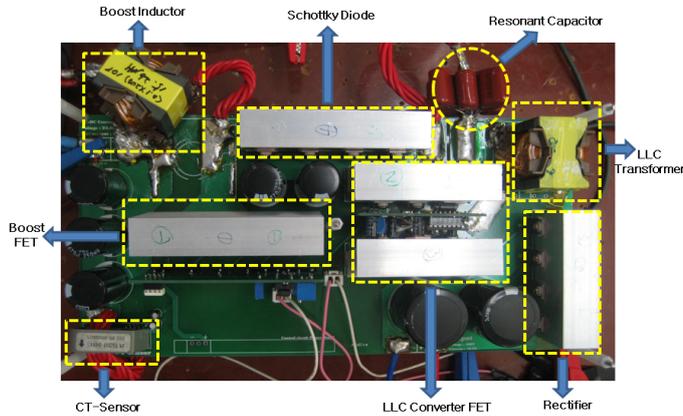
<표 2> 회로 실험 사양

| | |
|-------------------|----------------|
| 입력 전압 (V_s) | 24~50 V_{DC} |
| 출력 전압 (V_o) | 400 V_{DC} |
| 출력 전류 (I_o) | 2.5 A |
| 최대 출력 전력 | 1000 W |
| Boost 컨버터 동작 주파수 | 100 kHz |
| LLC 공진 컨버터 동작 주파수 | 100 kHz |

<표 3> 회로 설계 사양

| 인덕터 사양 | | 트랜스포머 사양 | | Core 형상 |
|--------|------------|--------------|---------------|---------|
| L | 15.3uH | Turn Ratio | 1:11(6:66) | |
| Core | PQ4040/PL7 | Core | PQ4040/PL7 | |
| Turn | 10 Turn | Lp(Lleakage) | 26.4uH(2.9uH) | |
| Wire | 0.1*200mm | Ls(Lleakage) | 2.6mH(4uH) | |
| Gap | 1.6mm | Gap | 0.1mm | |

아래 <그림 3>은 앞서 설계한 내용을 바탕으로 실제 제작된 연료전지용 고효율 DC-DC컨버터 사진이다. 실제 크기는 300mm*150mm으로 최초 실험을 위해 제작된 PCB 이고, 각 반도체 소자와 자기 소자의 신뢰성 및 온도포화점을 확인하였기 때문에 앞으로 회로의 크기를 지금의 반 인 150mm*150mm로 줄일 계획에 있다.

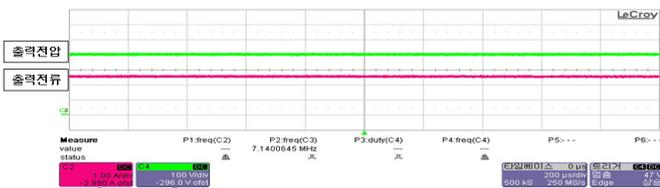


<그림 3> 연료전지용 고효율 DC-DC 컨버터

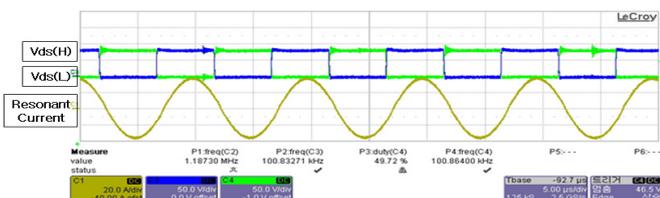
다음 <그림 4>와 <그림 5>는 각각 입력24V full-load시의 컨버터의 출력전압, 출력전류 파형과 LLC단의 스위치 Drain-Source간의 전압파형 및 트랜스포머 1차측을 흐르는 공진하는 전류파형의 모습을 보여준다. 스위칭 주파수는 100kHz이고, LC공진주파수 역시 100kHz정도로 고정하였다.($L_r=2.9\mu H, C_r=0.8\mu F$) 공진주파수는 다음 식에 의해 계산된다.

$$f_r = 1/2\pi \sqrt{L_r C_r} \quad (1)$$

주파수의 조절로 LLC컨버터에서의 최적의 공진 포인트를 맞추었고, ZVS(Zero Voltage Switching)영역에서 동작시켜 스위칭손실을 최소화 하였다.



<그림 4> 입력 24V Full-Load시 출력 전압,전류



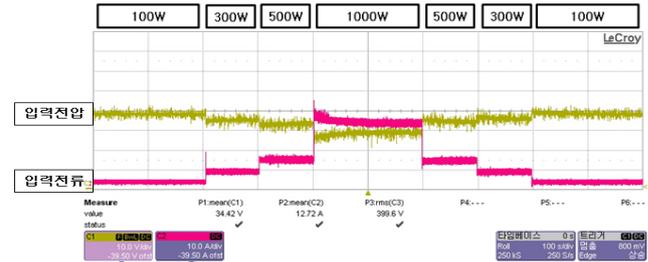
<그림 5> LLC컨버터의 Vds, Ir

다음의 사진은 1.2kW용량의 연료전지 스택(Stack)이다. 소소를 공급받아 전기에너지와 물을 생성하고, 무부하시 50V, 1kW이상의 부하시 약 24V정도의 일정치 못한 출력전압을 형성한다. 앞서 제작한 컨버터를 실제 연료전지 모듈에 결합하였고, 각 부하별 동작상태 및 컨버터 출력의 변화를 확인 하였다.

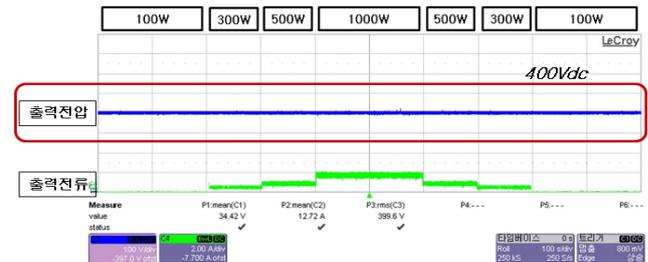


<그림 6> 1200W 출력을 갖는 연료전지 모듈

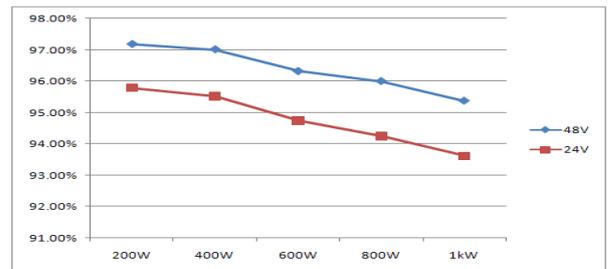
아래의 파형은 연료전지와 연계된 컨버터의 부하별 입출력 전압 및 전류의 모습이다. 100W~1000W까지의 부하변동과 큰 입력전압의 변화에도 컨버터 출력은 400Vdc Regulation 하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 7> 컨버터의 부하별 입력 전압, 전류



<그림 8> 컨버터의 부하별 출력 전압, 전류



<그림 9> 컨버터의 부하별 효율(입력:24V/48V)

3. 결 론

본 논문에서는 Boost컨버터와 LLC하프브리지 컨버터를 이용한 2단 구성의 연료전지 계통연계형 고효율 DC-DC컨버터를 설계 및 제작하였다. LLC공진컨버터를 이용하여 스위칭손실을 최소화시켜 1kW용량에서 94%에 가까운 효율을 얻었고, 연료전지와 직접 연계하여 심한 부하변동에도 안정적인 컨버터의 동작을 확인하였다. 앞으로는 현재 실험한 회로의 사이즈를 반 이상 줄이는 것을 목표로 하고 있다.

이 논문은 분산원복합운센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

[참 고 문 헌]

- [1] Bo Yang and Fred C. Lee. "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion" APEC2002, pp.1108-1112 vol.2
- [2] 강신호, 장준호, 홍성수, 이준영, "고전력밀도 AC/DC Adapter를 위한 Off-Time 제어법", 전력전자학술대회 논문집, pp286-288, 2007.