

Boost Converter로 구성되는 연료전지용 PCS의 손실 분석의 연구

김영식, 한동화, 정병환, 최규하
건국대학교 전기공학과

The Analysis of PCS Loss for Fuel-Cell Composed of Boost Converter

Young-Sik Kim, Dong-Hwa Han, Byung-Hwan Jeong, Gyu-Ha Choe
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk Univ.

ABSTRACT

본 논문은 계통연계형 연료전지 PCS(Power Conditioning System)에서 최적의 승압효율을 갖는 Boost Converter의 설계를 위해 Boost Converter내의 각 소자의 선정에 따른 손실 및 분석을 통하여 최적의 소자선정 방법의 이해를 목적으로 한다. Boost Converter의 설계를 위한 소자선정을 위해 Or-CAD 16.0의 PSPICE Simulator를 사용하여 그 결과를 확인하였다.

Keyword: 연료전지, Boost 컨버터, 손실분석

1. 서론

에너지의 이용은 현대의 윤택한 생활과 눈부신 사회 발전을 가능하게 한 원동력이다. 특히, 석유와 석탄 등의 화석 에너지는 인류의 주된 에너지원으로 오늘날까지 폭넓게 사용하고 있다. 그러나 화석 에너지의 양은 한정되어 있어 또 다른 종류의 신재생에너지 확보가 절실히 요구되고 있는 상황 하에서 최근 연료전지에 대한 관심이 집중되고 있다. 수소 연료는 현재의 화석연료를 대체할 에너지원으로서의 가능성이 크다.

연료전지는 부하에 따라 변동이 심한 전원에서 안정된 전압 조정을 해야 한다. 그리고 연료전지의 출력은 저전압, 대전류의 특성과 부하에 따라 전압이 변동하는 특성이 있어, 만일 시스템에서 사용된 외부 부하의 값이 연료전지의 출력 값보다 적으면 문제점을 야기하므로 DC/DC 변환기를 사용하여 연료전지의 출력을 PCS시스템 내에서 원하는 출력을 항상 일정하게 유지시켜야 한다. 이에 본 논문의 목표는 최적의 승압효율을 갖는 PCS의 설계를 위해 PCS내의 Boost Converter의 각 소자의 선정에 따른 손실 및 비교를 통하여 최적의 소자선정을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

2. Boost 컨버터의 손실분석

2.1 제안배경

현재 개발되어 사용되고 있는 계통연계형 PCS의 종류는 크게 저주파(60Hz) 변압기를 사용하는 방식과 고주파

변압기를 사용하는 고주파 링크 방식, 그리고 절연 변압기가 없는 방식으로 구분된다. 고주파 절연방식은 변압기의 크기가 PCS의 크기나 무게에 영향이 적어 많이 사용되며 전기적으로 절연되는 장점이 있으나 스위칭 소자의 수가 많고, 승압과 동시에 DC에서 AC로 변환하기 때문에 회로의 최적화가 어렵다. 그리고 비절연방식은 연료전지의 출력 전압이 계통전압의 첨두값 보다 낮을 경우 승압을 위한 DC/DC 컨버터가 추가로 요구되는 단점이 있으나 시스템 설계의 최적화에 있어 고주파 링크 방식에 비해 유리하기도 하다.^{[1]-[3]} 저주파 절연방식의 PCS토폴로지는 단일 Boost 컨버팅 방식을 채택하여 손실이 비교적 낮고 구현이 용이한 반면 앞서 말했듯이 저주파 변압기의 크기나 무게가 고주파 변압기에 비해 높기 때문에 소형경량화가 어렵고 낮은 출력직류전압을 교류로 변환함에 따라 인버터에서의 손실이 상대적으로 증가하는 단점을 가지고 있다.^[4] 결국, 최적의 설계를 위해서는 컨버터 및 인버터의 손실에 대한 분석이 필요하다.

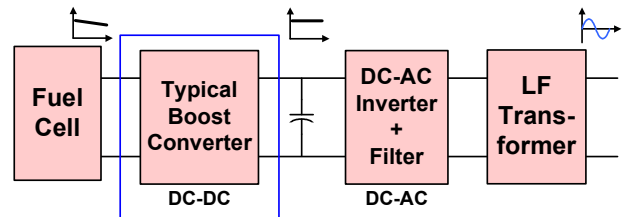


그림 1. 저주파절연방식 연료전지 PCS 토폴로지

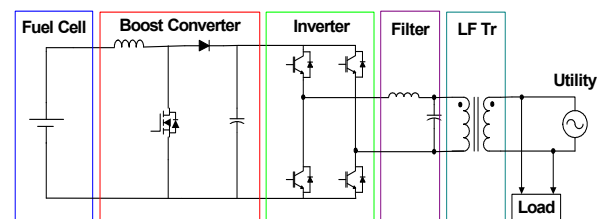


그림 2. 전체 시스템 구성도

여기서 그림 1은 저주파 절연방식의 PCS토폴로지를 나타내며, 그림 2는 전체 시스템 회로를 나타내고 있다.

2.2 Boost 컨버터의 기본동작

승압형(Boost) 컨버터의 구성 및 기본동작은 그림 3과 같으며, 주스위치(mosfet)와 환류다이오드, 2차의 저역통과 필터인 LC필터로 구성되며, 여기에 출력전압을 안정화시키는 스위칭 제어회로(Switching Control Circuit)로 피드백(Feed-back) 구성을 할 수 있다. Boost 컨버터는 주로 가변 직류전원장치와 직류전동기의 회생제동에 사용되며, 이름이 의미하듯이 출력전압이 항상 입력전압보다 높다. 스위치 Q가 도통일 때 인덕터 전류에 의해서 인덕터 L에 에너지가 축적되고 다이오드 D는 차단된다. 이때 출력측에서는 출력 필터 C의 전하가 부하를 통하여 방전된다. 반대로 스위치가 Q가 차단되면 L에 축적되었던 에너지는 환류다이오드 D를 통하여 출력측으로 방출되면서 승압되게 된다.

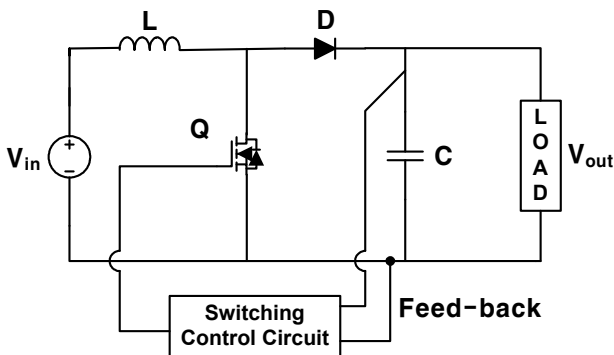


그림 3. 승압 컨버터

2.3 Boost 컨버터의 설계

2.3.1 다이오드 선정

환류 다이오드 D1은 IXYS社의 대전력용 고속 스위칭과 완만한 역회복 특성을 갖는 DSEP 29-12A로 허용전류가 30A, 내압이 1200V까지 가능하며, 역회복시간 trr이 40ns로 고속역회복다이오드를 선정하였다.

2.3.2 Mosfet 선정

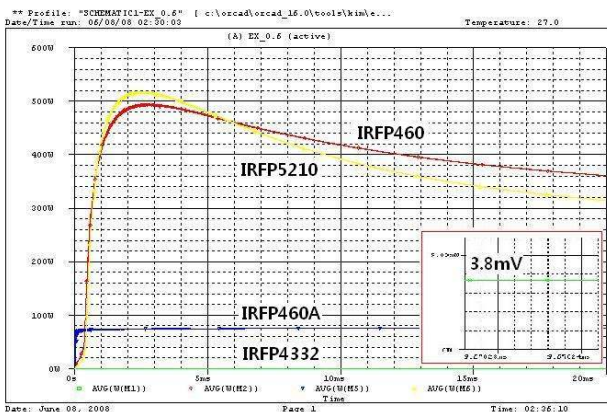


그림 4. Mosfet 손실비교
Fig. 4 Mosfet Loss Comparison

주 스위치 S1은 내압, 허용전류, 도통저항 등 많은 것이 선

정 기준이 되나, 본 논문에서는 소자의 손실에 가장 큰 영향을 끼치는 도통저항을 중심으로 소자를 선정하겠다.

비교는 전체 연료전지 시스템에서 선정 가능한 IRFP460, IRFP460A, IRFP 4332PbF, IRFP5210의 네 개를 비교하였는데, 그림 4에서 볼 수 있듯이 같은 조건하에서 IRFP 4332PbF는 소자손실이 3.8mV로 현저하게 적음을 볼 수 있었다. 그래서 본 논문에서는 $R_{DS(ON)}$ 이 상대적으로 10%정도인 29mV밖에 안되고, 내압 V_{DSS} 가 250~300V이며, 허용전류 I_{DSS} 120A인 IRFP 4332PbF를 선정하게 되었다.

2.3.3 인덕턴스 및 커패시턴스 설정

인덕턴스 L을 설정하기에 앞서 출력전류의 최소값을 설계자는 설정을 해야 한다. 보통 주어지는 전기적 설계사양에서 출력전력과 전압의 관계를 이용하여 출력전류를 설정하는데, 일반적으로 출력전류의 최소값은 출력전류의 10%정도로 산정하게 된다. 여기서 출력전류의 최소경계값은 컨버터가 CCM(Continuous Conduction Mode)상태에서 동작하기 위한 최소의 한계치를 말한다. 결국 출력전류의 최소경계값은 3.3[A]의 10% 0.33[A]로 선정하였고, 식 (1), (2)에 의해 인덕턴스 및 커패시턴스 값을 선정하였다.

$$L \geq \frac{D(1-D)^2 R}{2f_{sw}} = \frac{D(1-D)^2 V_o}{2f_{sw} I_{o_min}} \quad (1)$$

$$= \frac{0.52 \times (1-0.52)^2 \times 100}{2 \times 40 \times 10^3 \times 0.33} \approx 454 [\mu H]$$

$$C = \frac{DT}{R} \frac{V_o}{\Delta V_o} = \frac{0.52 \times 100}{7.3 \times 40 \times 10^3 \times 0.2} = 890 [\mu F] \quad (2)$$

2.4 해석 및 재설계

앞서 설계된 Boost컨버터의 소자의 손실에 따른 해석과 설계방법을 검증하기 위하여 Pspice 16.0을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 5는 소자 개수의 변화에 따른 손실을 분석하기 위한 회로도이며, 그 시뮬레이션 결과는 그림6에서 확인할 수 있다.

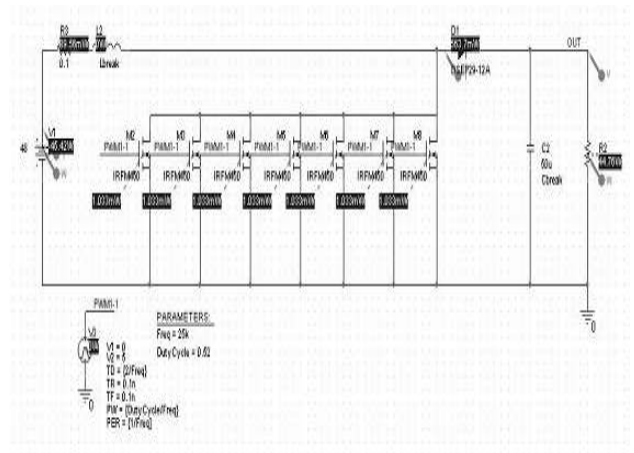


그림 5. Mosfet의 개수의 변화에 따른 손실분석 회로도

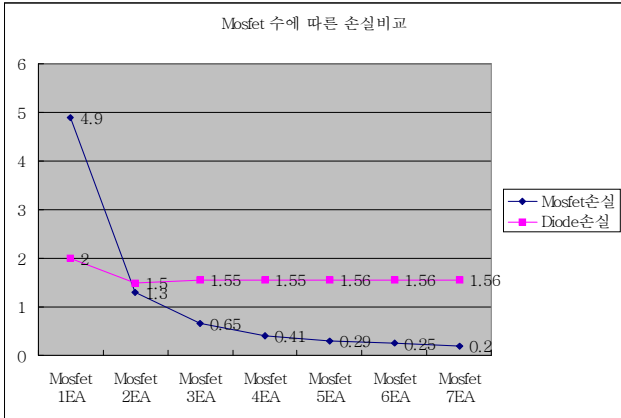


그림 6. Mosfet의 개수의 변화에 따른 결과

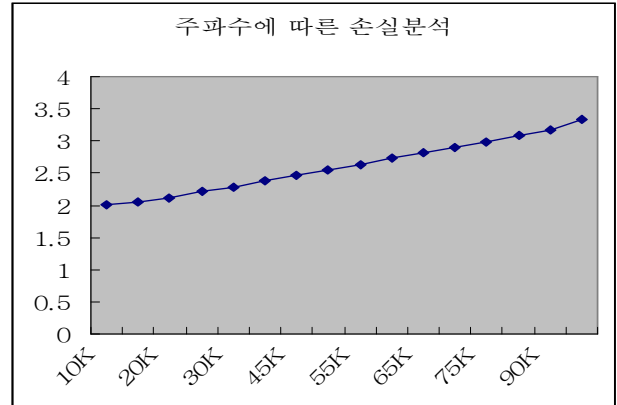


그림 9. 주파수 변화에 따른 손실분석결과

위의 결과에서 확인할 수 있듯이, Mosfet의 소자의 수에 증가에 따라 Mosfet 하나가 부담하는 전류의 감소로 인하여 손실이 감소하는 결과를 볼 수 있다. 그러나 Mosfet의 수가 3개 이상이 되는 시점부터는 손실이 감소하는 폭이 현저히 줄어들어, 실제 설계시에는 상대적으로 제작비용에 비하여 손실의 감소가 적어서 최적의 소자 개수를 3개로 선정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7은 최적소자 개수를 선정한 후 듀티비 및 주파수의 변화에 따른 손실을 분석하기 위한 회로도이다. 그 시뮬레이션 결과는 그림 8과 그림 9에서 확인할 수 있다.

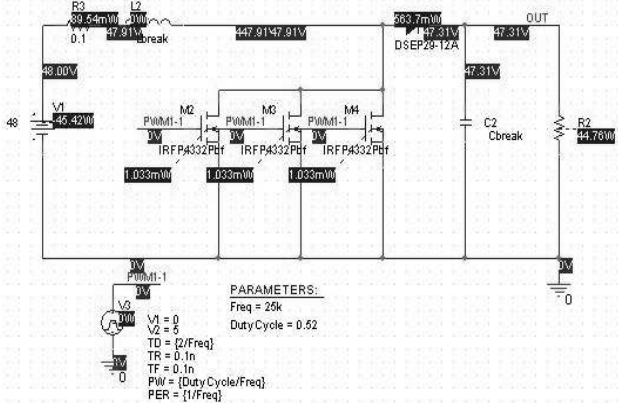


그림 7. 손실분석을 위한 회로도

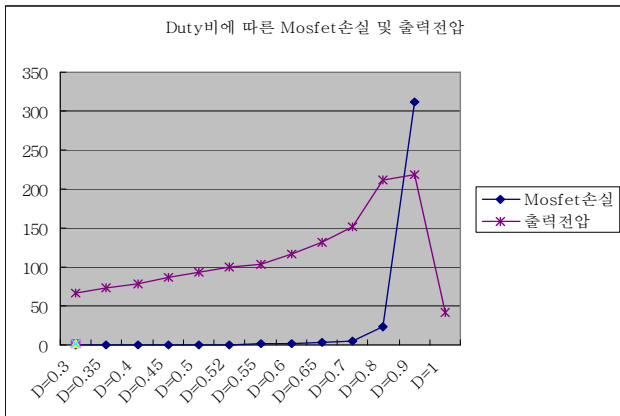


그림 8. Duty 변화에 따른 손실분석결과

그림8의 결과에서 확인할 수 있듯이 전류가 연속적으로 흐르는 것을 출력전압의 듀티비에 대한 관계는 위의 그림과 같고 듀

티비 D가 커지면 출력전압은 증가하게 된다. 그러나 이론상으로 D=1일 경우일 때 출력전압은 무한대로 커져야 하나, 컨버터 회로내의 인덕터, 커패시터, Mosfet, 다이오드 등의 회로내에서 손실로 인하여 위의 그림에서 듀티비가 0.8을 넘어가게 됨에 따라 1이 되었을 때 출력전압이 42V까지 감소하게 되어 오히려 전압의 승압비를 현저하게 저감시키게 됨을 시뮬레이션을 통하여 증명하였다. 그래서 보통 듀티비 D를 0.5이하 혹은 그 근처로 설정하게 되어 본 논문에서도 D=0.52로 설정하였다. 그리고 Mosfet의 손실을 살펴보면 듀티비가 0.5이하일때는 0.1, 0.2, 0.4..의 낮은 손실증가율을 보이다가 0.8이상이 될 때부터 손실이 급격하게 증가하여 승압비를 현저하게 떨어뜨리는 이유 중 하나가 된다. 또, 그림 9에서 주파수의 증가에 따른 손실의 증가를 확인하였다.

3. 결과

본 논문에서는 Boost Converter로 구성되는 계통연계형 연료전지 시스템의 승압하는 과정에서 생기는 손실을 고려한 Boost Converter의 최적소자의 설계를 위한 손실분석을 Pspice 시뮬레이션을 통하여 수행하였고, 손실분석을 통하여 Mosfet의 소자개수의 증가와 Duty비의 증가에 따라 손실의 변화추이관계를 확인하였다. 향후 지속적인 제어알고리즘 연구 및 최적화 설계연구를 통하여 계통연계형 연료전지 시스템자체의 효율을 극대화 시키는 연구를 진행시키겠다.

이 논문은 지식경제부의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] V. Jone, N. Mohan, "Standby Power Supply with High Frequency Isolation", APEC'95. Conference Proceedings, pp. 990 ~ 994, 1995
- [2] R.L. Steogerwald, A. Ferraro, F.G. Turnbull, "Application of Power Transistors to Residential and Intermediate Rating Photovoltaic Array Power Conditioners", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-19, pp. 254 ~ 267, 1983
- [3] 박성준, 강필순, 박노식, 김철우, "변압기 직렬 결합을 이용한 새로운 멀티레벨 인버터", 전력전자학회 논문지 제 8권, 제 1호, pp.9 ~ 16, 2003년 2월
- [4] 서인영, 정홍주, 이정민, "연료전지시스템용 전력변환 기술", 전력전자학회지 제12권제4호, 2007.8 pp.39 ~ 43