

연료전지용 풀브릿지 컨버터 효율분석

한동화, 김영식, 정병환, 최규하
건국대학교 전력전자 연구실

Efficiency analysis of Full-Bridge converter for fuel cell

Dong-hwa Han, Young-Sik Kim, Byung-Hwan Jung, Gyu-Ha Choi
Konkuk university

ABSTRACT

본 논문은 현재 연료전지의 전력변환시스템에서 고주파 절연방식 중 많이 사용되고 있는 Full-Bridge 컨버터를 시뮬레이션 툴(ORCAD)을 이용하여 조건을 각각 달리하여 해석하였다. 전류의 부담을 줄이는 방법으로 사용하는 MOSFET을 병렬로 여러개 연결할 경우와 스위칭 주파수를 변화시켰을 경우 각각의 손실을 알아보았고 이를 통하여 효율개선의 방안을 제시하였다.

Keyword: 연료전지, 풀브릿지 컨버터, 효율, MOSFET 손실

1. 서론

현대 사회는 산업화과정에서 엄청난 자원을 투자하였다. 그중 대부분의 자원은 화석연료에 집중되어져 있었다. 그로인하여 현재 세계는 화석연료의 고갈이라는 문제와 환경오염이라는 문제를 갖게 되었다. 이러한 상황에서 우리의 해결책으로 신재생 에너지를 들 수 있다. 신재생 에너지 중 연료전지는 물의 전기분해의 역반응으로서 연료의 화학적 에너지를 전기화학반응을 통하여 직접 전기로 전환하는 방식으로, 공기 중의 산소를 활용하며, 수소를 연료로 사용하여 하나의 에너지 변환단계에서 전기를 얻을 수 있다는 점에서 기존의 발전과는 에너지 변환 효율 및 환경오염 측면에서 주목받고 있다. 본 논문에서는 연료전지용 전력변환 시스템 분류 중 고주파 절연방식에서 많이 사용하는 풀브릿지 컨버터의 각 부의 손실과 전체의 효율을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

특히 저전압 대전류의 특성을 갖는 연료전지시스템에서는 스위칭 전압강하를 줄이고, 전류의 부담을 줄이는 방법으로서 스위칭소자를 병렬로 여러개 연결할 경우와 스위칭 주파수를 변화시켰을 경우 각각의 손실을 알아보았고 이를 통하여 효율개선의 방안을 제시하였다. 시뮬레이션은 CADENCE사의 ORCAD 16.0 툴을 사용하였다.

2. 고주파 절연 풀브릿지 컨버터의 구성

연료전지 전력변환 시스템의 구성에 있어 시스템은 크게 고주파 절연과 저주파 절연으로 나누게 된다. 고주파 절연방식의 구성을 살펴보면 그림1과 같다.

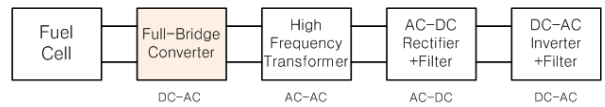


그림 1. 고주파 절연 시스템
Fig. 1 High Frequency isolation system

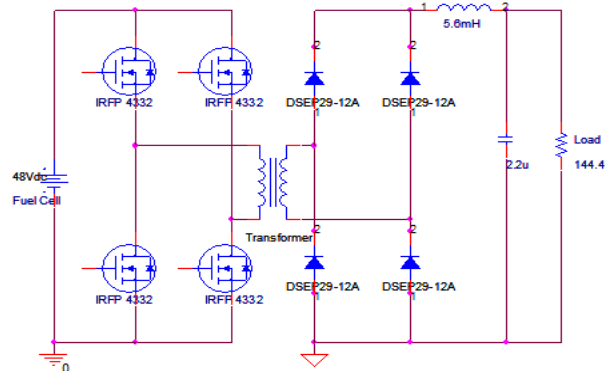


그림 2. 풀브릿지 컨버터
Fig. 2 Full-bridge Converter

연료전지의 전압을 사용하기 위해서는 승압이 필요하다. 고주파 절연시스템의 시스템의 동작 상태를 살펴보면 연료전지에서 나오는 낮은 전압을 스위칭 작용을 통하여 교류로 변화 후 변압기를 통하여 승압 시킨다. 이 승압된 교류전압을 정류기를 거쳐 다시 직류전압으로 바꾼 후 인버터를 통하여 계통의 전압과 동일한 전압으로 변화시켜 계통과 연계 시킨다.

그림2에서 나타내어진 컨버터는 풀브릿지 컨버터이다. 고주파 절연시스템에서 풀브릿지 컨버터외에 하프브릿지, 푸쉬풀 등의 컨버터가 주로 사용되어 있다.

풀브릿지 컨버터는 변압기 양단에 직류전원의 크기와 동일한 피크치를 갖는 교류전원이 인가되어 변압기의 권선비가 적은 장점이 있으나, 다른 토폴로지에 비해 많은 스위칭 소자를 가지는 단점이 있고 변압기에 교류자속을 형성하기 위해 항상 2개의 스위칭 소자가 도통상태가 되어 손실이 발생한다. 그러므로 대전류 저전압의 특성을 가진 연료전지 시스템에서 풀브릿지 컨버터의 설계시 손실이 고려되어야 한다.

2.1 컨버터에서의 손실

컨버터에서 발생할 수 있는 손실에 대하여 알아보면 다음과

같다.

- * MOSFET 손실
- * 다이오드 손실
- * 변압기 손실

2.1.1 MOSFET 손실

손실은 MOSFET내부의 다이오드가 도통하지 않는 다고 전제하면 턴 온 저항에 의한 전도 손실과 입력 커패시턴스에 의한 구동손실이 대부분이다.

MOSFET에서의 전력손실은 아래와 같은 식으로 계산된다.

$$P_{MOSFET} = \frac{1}{2}(R_{DS(on)}I_o^2D + C_i(\frac{V_o}{D})^2 \cdot f$$

$R_{DS(on)}$: MOSFET의 드레인-소스간의 ON저항

I_o : MOSFET의 도통전류

V_o : 출력전압

f : 스위칭 주파수

D : Duty

C_i : MOSFET입력 커패시턴스

2.1.2 다이오드 손실

다이오드의 턴 온 특성 즉 0.7V의 전압강하 때문에 생기는 손실이다. 출력전력이 낮을수록 효율의 특성이 더 떨어진다.

2.1.3 변압기 손실

변압기 손실은 동손과 철손으로 나눌 수 있다. 동손은 권선을 흐르는 전류와 전선의 고유저항에 의해 결정되어지면 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$P = I_s^2 \cdot R_{DC}$$

고주파 변압기의 철손은 자성재료의 재질에 따라 각각 달라지며 스위칭 주파수와 자속밀도에 비례한다.

단위면적당 철손은 $P_{fe} = K \cdot f^m \cdot B^n [W/m^3]$ 이다 여기서 K,m,n은 물질에 의한 상수이며 B는 자속밀도이다.

3.시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 조건

- 입력전압: 48V
- 출력전압: 380V
- 정격용량: 1Kw
- 듀티 비 : 0.4
- 변압 비: 48:480

부하는 출력전압 380V에서 1Kw정격을 맞추기 위하여 144.4[Ω]으로 하였고 MOSFET은 IRFP4332, 다이오드는 DSEP 29-12A를 사용하였다. 변압기는 ORCAD에서 구현하기 어려워 ORCAD의 소자에서 XFRM_NONLINEAR를 사용하였으며 손실을 고려하여 변압비를 올려 설계하였다...

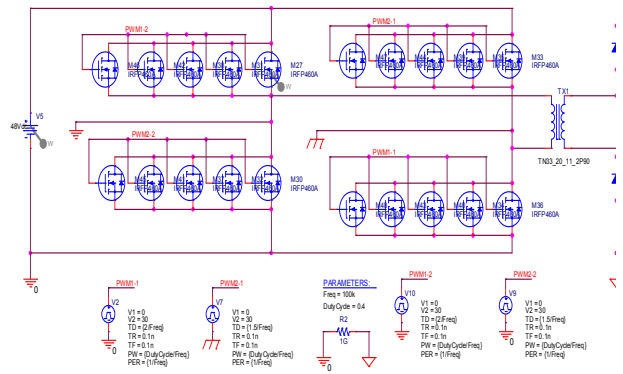


그림 3. 시뮬레이션 회로도

Fig. 3 Simulation circuit

3.2 스위칭 주파수에 따른 효율분석

주파수에 따른 풀브릿지 컨버터의 효율을 분석하기 위하여 스위칭 주파수를 5kHz에서 100kHz까지 변화시켜 MOSFET의 손실과 컨버터의 효율에 대하여 시뮬레이션하여 분석하였다.

그림4은 주파수 변화에 따른 MOSFET의 손실의 변화를 나타내고 있다. 그래프의 전체적인 추이가 주파수가 증가할수록 손실이 증가하는 것을 나타내고 있다.

그림5는 주파수의 변화에 따른 컨버터의 효율을 나타내고 있다. 그래프의 전체적인 경향은 주파수가 증가할수록 효율은 증가하고 있지만 50KHz이상의 주파수 범위에서는 효율의 증가가 둔화된 것을 알 수 있다.

3.3 병렬 스위칭 소자수에 따른 효율분석

스위칭 소자수에 따른 풀브릿지 컨버터의 효율을 분석하기 위하여 스위칭 소자의 수를 1개에서 5개까지 변화시켜 MOSFET의 손실과 컨버터의 효율에 대하여 조사를 하였다.

그림 6에서는 스위치 병렬수에 따른 MOSFET의 손실은 나타내고있다. 그래프를 보면 소자수가 증가할수록 손실이 감소하는 경향을 보인다. 병렬소자수 4개이상에서는 손실의 변화가 적어지는 것을 알수있다.

그림 7에서는 스위치 병렬수에 따른 컨버터의 효율을 나타내고 있다.

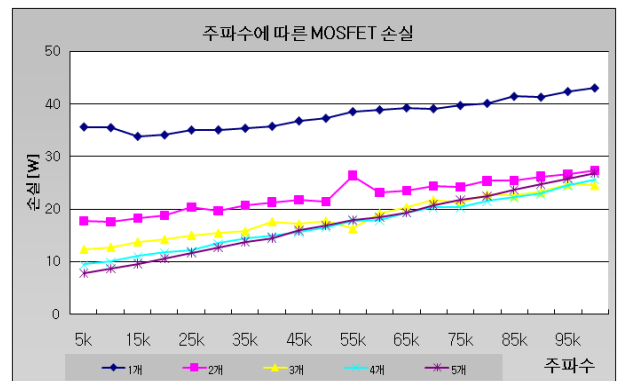


그림 4. 주파수에 따른 MOSFET 손실

Fig.4 MOSFET loss according to frequency

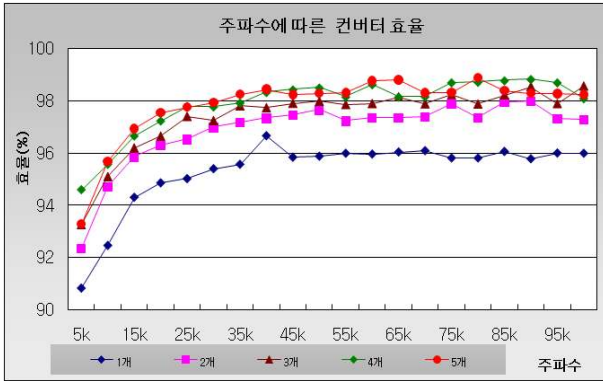


그림 5. 주파수에 따른 컨버터 효율
Fig.5 Converter efficiency according to frequency

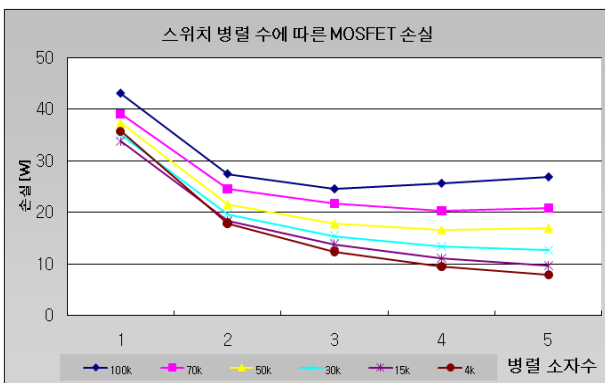


그림 6. 스위치 병렬 수에 따른 MOSFET 손실
Fig.6 MOSFET loss according to number of parallel switches

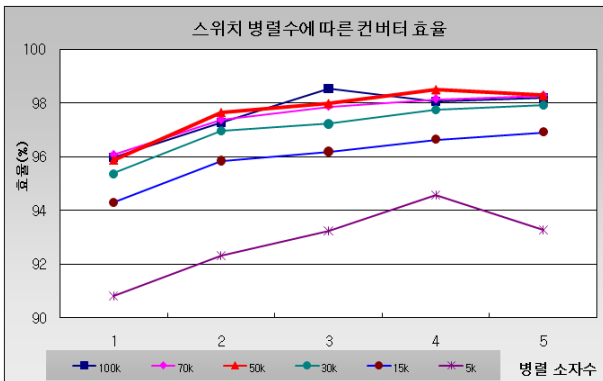


그림 7. 스위치 병렬 수에 따른 컨버터 효율
Fig.7 Converter efficiency according to number of parallel switches

3. 결론

병렬 소자수에 따른 MOSFET의 손실의 변화는 MOSFET에 흐르는 전류가 병렬 소자수에 반비례하여 줄어들게 되어 눈에 띄는 감소를 가져왔다. 그러나 4개 이상에서는 손실의 변화가 둔화되고 시뮬레이션으로 표현하지 못한 부가적인 저항성분을 고려할 경우 4개 이상의 병렬소자를 사용하는 것은 오히려 손실을 증가시킬 수 있다.

스위칭 주파수의 경우 주파수의 증가 시 효율이 향상되는

것을 그림 5에서 볼 수 있다. 그러나 주파수가 50kHz를 초과하는 주파수에서는 효율의 증가가 둔화되는 것을 볼 수 있는데 이것은 고주파가 될수록 변압기손실은 줄어드는 반면 MOSFET소자의 손실이 증가하기 때문이다.

향후 계획으로서 컨버터의 모든 부품의 손실을 계산하여 적합한 설계를 통하여 컨버터의 효율을 개선 할 것이다.

이 논문은 지식경제부의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] 차한주, 최정완, 윤기갑 "연료전지용 3상 전류형 능동클램프 DC-DC 컨버터" 전력전자학회 논문지 제12권 제6호, 2007. 12, pp. 456 ~ 464 (9pages)
- [2] 안치형 "전류형 능동 클램프 단상 풀브리지 DC-DC 컨버터의 해석 및 손실분석" 충남대학교 석사 학위 논문 2007.
- [3] 장동렬, 서영민, 홍정찬, 윤덕용, 황룡하 "IGBT-MOSFET 병렬 스위치를 이용한 고효율 직류-직류 변환기" 전력전자학회논문지 전력전자학회 논문지 제4권 제2호, 1999. 4, pp. 152 ~ 158 (7pages)
- [4] 권형남, 정홍주, 김래영), 최태식, 송중환 "연료전지용 전력 변환장치의 DC-DC 컨버터 개발" 전력전자학술대회논문집 전력전자학회 2002년 추계학술대회논문집, 2002. 11, pp. 94 ~ 97 (4pages)