

Z- 소스 인버터와 울트라커패시터를 이용한 연료 전지 시스템

김윤호, 이욱영, 서강문, 원충연*
 중앙대학교 성균관대학교*

A Fuel Cell System with Z-Source Inverters and Ultracapacitors

Y. H. Kim, W. Y. Lee, K. M. Seo, C. Y. Won*
 ChungAng University Sungkyunkwan Univ.*

ABSTRACT

본 논문에서는 연료 전지의 전압 강하 보상을 위해 Z-소스 인버터와 울트라커패시터를 포함하는 연료 전지 시스템을 제안하였다. Z-소스 인버터의 구조는 매우 간단하다. 이는 DC/DC 컨버터의 사용 없이 단순히 스위칭 패턴만을 제어하여 전압을 승압 할 수 있는 특징을 갖는다. 연료 전지 시스템은 연료 전지의 전압 변동시, 또는 부하 변동시 외부적인 영향에 의해서 과도 상태 전압 왜란이 발생할 수 있다. 이를 보상하기 위한 Z-소스 인버터의 다양한 토폴로지가 제안된다.

1. 서 론

분산 발전 시스템은 소규모의 지역 발전소 혹은 연료 전지, 광 발전 등과 같은 이차 에너지원을 통하여 전력을 발생한다. 이차 에너지원을 사용한 시스템은 인버터를 사용하여 원하는 전력을 만들어 낸다. 인버터에는 많은 종류가 있다. 그러나 Z-소스 인버터의 새로운 토폴로지는 연료 전지 시스템에 응용할 때 몇몇의 장점을 가진다. Z-소스 인버터는 일반적인 인버터 토폴로지의 단점들을 보완할 수 있고, 그것이 갖는 독특한 특징 때문에 다양한 장점들을 갖는다. 연료 전지 시스템의 동작을 위해 우리는 과도상태와 전압 왜란이 발생할지라도 연료 전지의 출력 특성이 안정을 유지되도록 해야 한다. 과도상태와 전압 왜란 문제를 보상하기 위해 연료 전지 시스템에 울트라커패시터의 추가 설치를 포함한 다양한 방법을 연구하였다.[1][2]

2. 시스템 소자들

2.1 연료 전지

연료 전지는 수소와 산소가 직접 전기와 물로 변환되는 전기-화학적 장치이다. 연료 전지는 두 개의 중요한 특성을 갖고 있다. 그 중 하나는 PEM(Proton Exchange Membrane) 연료 전지에서 부하 조건에 따라서 출력 전압이 변한다는 것이다. 연료 전지의 이러한 특징들은 시스템의 출력 전압 응답에 영향을 미친다.

문제를 해결하기 위해 다양한 접근 방법이 울트라커패시터를 사용하여 연구 되었다. 시뮬레이션을 위해 그림 1에서 나타난 것처럼 울트라커패시터의 등가회로를 사용하였다. 매개변수는 표 1에 나타내었다.[3]

2.2 울트라커패시터

울트라커패시터는 높은 전력 밀도를 제공하고 매우 높은 충/방전 시간, 기계적인 강인성을 갖는 전기적 에너지 저장 장치이다. 빠른 충전은 배터리에 손상을 주는 반면 울트라커패시터는 손상 없이 빠른 충전이 가능하다. 그림 1은 울트라커패시터의 1차 등가 모델을 나타낸다.

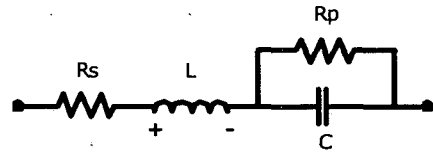


그림 1 울트라커패시터의 1차 회로 모델

R_s	0.7mΩ	R_p	300Ω
L	0.01mH	C	1F

표 1 울트라커패시터 회로의 매개 변수

3. 시스템 회로 토폴로지와 시뮬레이션 결과

다양한 가능성 있는 회로 토폴로지가 울트라커패시터를 포함하여 연구 되었다. 시뮬레이션은 연료 전지의 전압 변동시와 부하 변동시의 다음의 회로 토폴로지에 대해 실행하였다. 1) Z-소스 인버터 시스템, 2) Z-소스 인버터 시스템과 연료 전지와 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터, 3) Z-소스 인버터와 다이오드와 Z-소스 네트워크 사이에 연결된 울트라커패시터, 4) Z-소스 인버터와 두 개의 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터, 5) 4)에 추가적으로 울트라커패시터와 일반 커패시터의 병렬연결

3.1 시뮬레이션 조건

시스템 매개변수는 $V_{fuel}=10V$, Z-소스 네트워크 매개변수는 $L_1=L_2=L=930\mu H$, $C_1=C_2=C=1500\mu F$ 이

다. 변조 지수 $M=0.5$, shoot-through 듀티 사이클 $T_0/T_s=0.1014$ 스위칭 주파수 2.4kHz로 설정 하였다.

3.2 시스템 회로 토폴로지들

3.2.1 Z-소스 인버터를 포함한 시스템

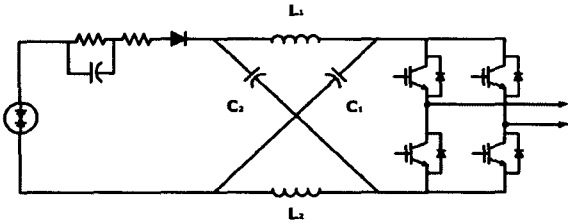


그림 2 Z-소스 인버터 시스템

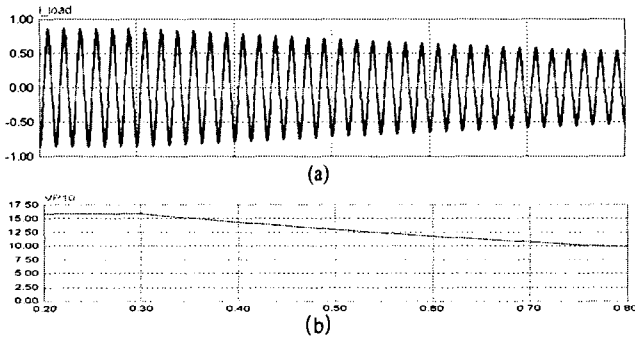


그림 3 연료전지의 전압 변동시 울트라커패시터 보상 없이 출력 전압 왜란을 포함한 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압

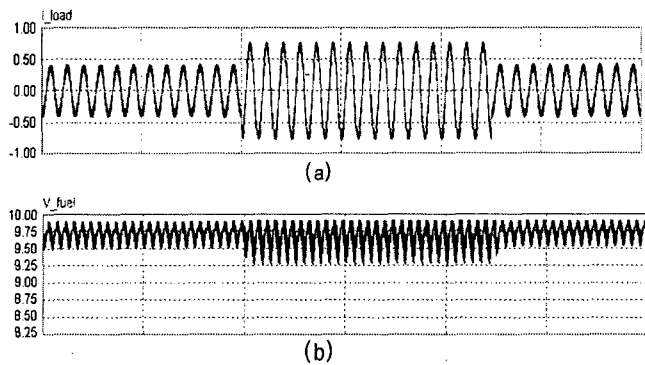


그림 4 부하 변동시 울트라커패시터 보상 없이 출력 전압 왜란을 포함한 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압

그림 4는 연료전지의 전압 강하가 부하전류에 미치는 영향을 나타낸다. 그림5는 부하의 변동이 연료전지의 출력전압에 영향을 미친다. 일정한 출력을 얻기 위해서는 울트라커패시터가 설치 되어야 한다.

3.2.2 연료 전지와 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

그림 5는 연료 전지와 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터를 나타낸다. 울트라커패시터는 연료 전지의 출력 특성을 보상하기 위해 사용되었다. 그러나 역 전류가 울트라커패시터로부터 연료 전지로 흐를 수 있다. 이는 전압 왜란시 연료 전지에 손상을 줄 수 있는 치명적인 단점을 갖고 있다.

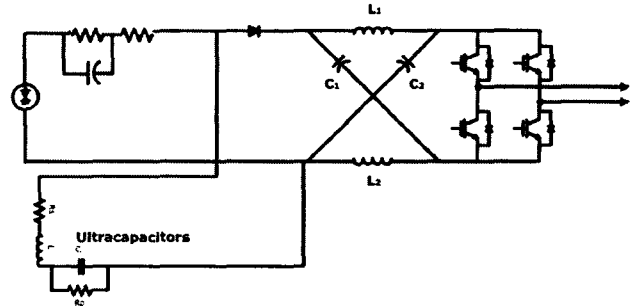


그림 5 연료 전지와 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

3.2.3 다이오드와 Z-소스 네트워크 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

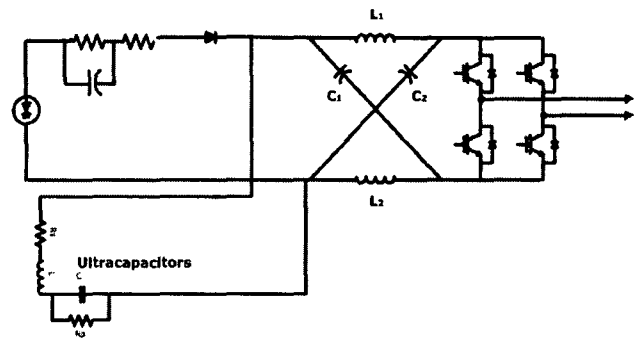


그림 6 다이오드와 Z-소스 네트워크 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

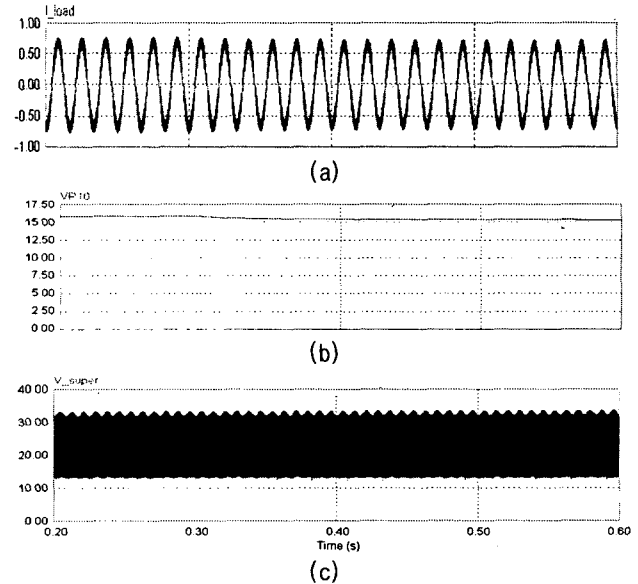
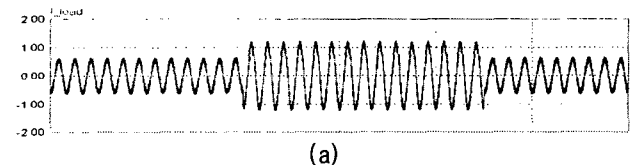


그림 7 연료전지 전압 변동시 울트라커패시터가 다이오드와 Z-소스 네트워크 사이에 연결되었을 때의 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압 (c) 울트라커패시터 전압



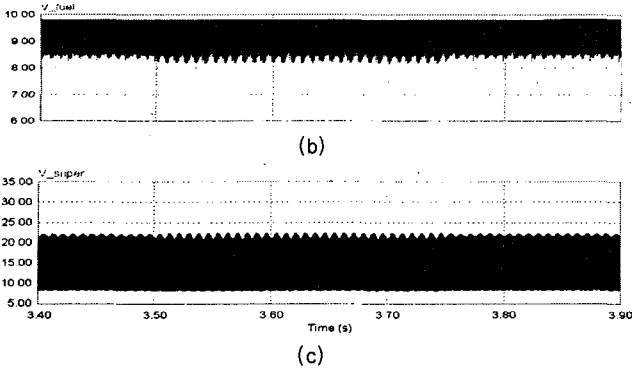


그림 8 부하 변동시 울트라커패시터가 다이오드와 Z-소스 네트워크 사이에 연결되었을 때의 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압 (c) 울트라커패시터 전압

그림 6은 다이오드와 Z-소스 네트워크 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터를 나타낸다. 이 경우, 역전류는 블로킹 다이오드에 의해 연료전지로 흐르지 않는다. 그림 7은 연료전지의 전압 변동시, 그림 8은 부하 변동시 울트라커패시터로 보상된 파형을 나타낸다. 그러나 울트라커패시터의 충/방전 주기와 정격 전압이 증가하는 단점을 갖는다. 울트라커패시터의 높은 충/방전 주기, 정격 전압의 증가는 비용과 크기를 증가시키고 수명을 단축시킨다.

3.2.4 두 개의 다이오드(D1, D2) 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

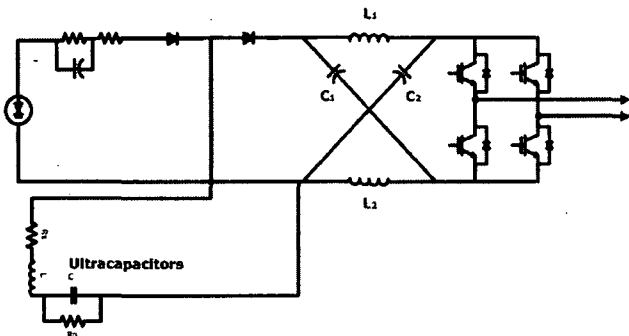


그림 9 두 개의 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

그림 9는 두 개의 다이오드(D1, D2) 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터를 나타낸다. 이러한 토폴로지는 울트라커패시터의 정격 전압이 감소하고 역전류가 연료전지로 흐르지 않는다는 장점을 갖는다. 이 토폴로지는 2)와 3)의 각각의 경우에 해당하는 단점들을 보완한 구조이다.

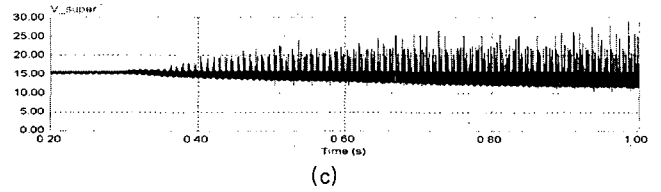
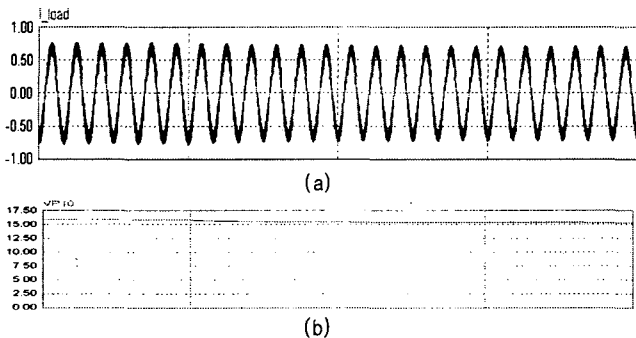


그림 10 연료전지 전압 변동 시 울트라커패시터가 두 개의 다이오드 사이에 연결되었을 때의 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압 (c) 울트라커패시터 전압

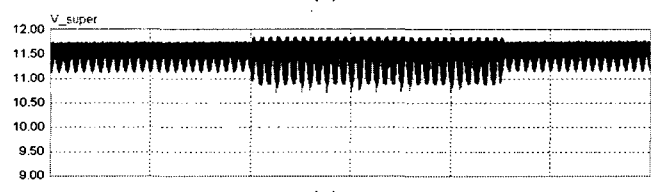
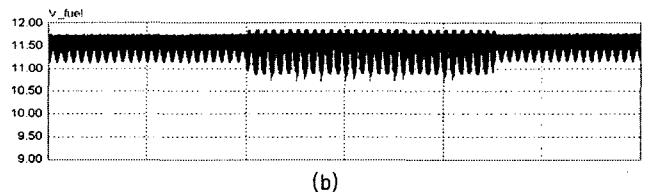
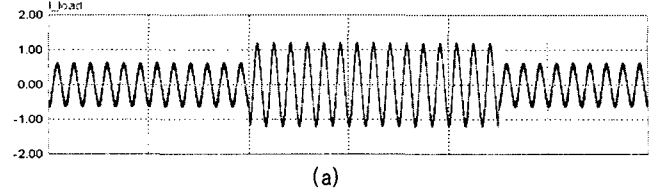


그림 11 부하 변동 시 울트라커패시터가 두 개의 다이오드 사이에 연결되었을 때의 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압 (c) 울트라커패시터 전압

그림 11은 연료전지의 전압 변동시, 그림 12는 부하 변동시의 파형을 보인다. 하지만 이는 여전히 높은 충/방전 주기를 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 울트라커패시터와 일반 커패시터를 병렬로 연결한 토폴로지를 제안한다.

3.2.5 두 개의 다이오드(D1, D2) 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

그림 12는 두 개의 다이오드(D1, D2) 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터를 나타낸다. 이 토폴로지는 4)의 경우와 유사한 장점들을 갖는다.

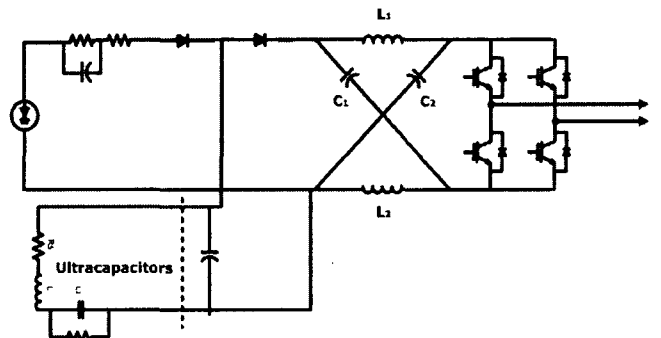


그림 12 두 개의 다이오드 사이에 연결된 울트라커패시터를 포함한 Z-소스 인버터

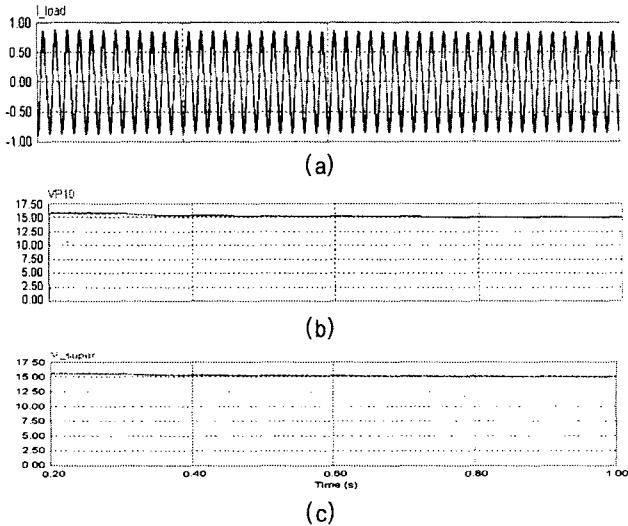


그림 13 연료전지 전압 변동 시 울트라커패시터가 두 개의 다이오드 사이에 연결되었을 때의 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압 (c) 울트라커패시터 전압

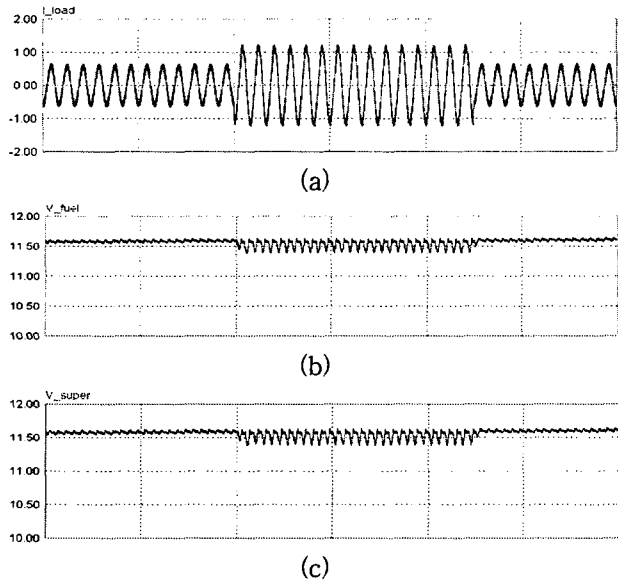


그림 14 부하 변동 시 울트라커패시터가 두 개의 다이오드 사이에 연결되었을 때의 파형 (a) 부하전류 (b) 연료전지의 출력 전압 (c) 울트라커패시터 전압

그림 13은 연료전지의 전압 변동시, 그림 14는 부하 변동시 울트라커패시터에 추가적으로 커패시터를 병렬로 연결했을 때의 파형을 보여주고 있다. 그림 11,12와 비교해 매우 안정적인 동작을 하고 있는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Z-소스 인버터와 시동시 응답과 연료 전지의 전압 왜란을 보상하는 울트라커패시터를 포함한 연료 전지 시스템을 제안하고 분석 하였다. Z-소스 인버터는 원하는 출력 전압을 얻기 위해 추가적인 DC/DC 컨버터가 필요 없다. 그러므로 일반적인 연료 전지 시스템과 비교했을 때, 간단한 구조를 갖고 많은 장점을 갖는다. 게다가 시스템은 다양한 출력 전압을 얻을 수 있다.

연료전지는 아주 유용한 전력 변환 에너지원 중의 하나이다. 그러나 연료전지는 매우 느린 응답 시간과 부하 변동시 출력 전압의 변동 때문에 실제 응용에서 이를 보상 하는 것이 필요하다. 시뮬레이션 결과는 Z-소스 인버터와 울트라커패시터를 포함한 제안된 연료전지 시스템은 시스템 과도 응답시와 전압 변동에 높은 성능을 갖는것을 나타냈다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업으로 수행된 논문입니다

참고 문헌

- [1] Fang Zheng Peng; "Z-source inverter", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 39, Issue: 2, March-April 2003, Pages: 504 - 510.
- [2] Candusso, D., Valero, L., Walter, A., "Modelling, control and simulation of a fuel cell based power supply system with energy management", IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the], Volume: 2, 5-8 Nov. 2002, Pages: 1294 - 1299 vol.2.
- [3] Yoon-Ho Kim, Sang-Sun Kim, "An electrical modeling and fuzzy logic control of a fuel cell generation system", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume: 14, Issue: 2, June 1999, Pages: 239 - 244.
- [4] Linzen, D., Buller, S., Karden, E., De Doncker, R.W., "Analysis and evaluation of charge balancing circuits on performance, reliability and lifetime of supercapacitor systems", Industry Applications Conference, 2003. 38th IAS Annual Meeting. Conference Record of the, Volume: 3, 12-16 Oct. 2003, Pages: 1589 - 1595 vol.3.
- [5] Do Yang Jung, "Shield ultracapacitor strings from over voltage yet maintain efficiency: although active cell voltage-equalization circuitry adds complexity, it has greater energy efficiency than passive techniques. (Design Application)", Electronic Design, May 27, 2002, by Pages: 1 - 3.