

Z-소스 인버터의 병렬 운전 특성 개선

김윤호, 문현욱, 이욱영, 서강문, 원충연*
 중앙대학교 성균관대학교*

A Characteristic Improvement for the Parallel operation of Z-source Inverters

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

ABSTRACT

본 논문에서는 연료 전지 시스템을 위한 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템을 제시 하였다. PWM 방식으로는 Carrier phase shifted SPWM을 적용하였으며 이 방식은 출력 전류의 고조파 성분을 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 이 기법을 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템에 적용하는 경우 추가적으로 순환 전류를 발생한다. Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템이 동작 시 발생하는 순환 전류를 감소시키며, 부하전류에 낮은 고조파 성분을 가질 수 있도록 커플링된 순환 전류 리액터를 사용하였다. 이에 대한 적합성을 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

1. 서 론

연료 전지 시스템은 매우 유용한 대체 에너지원 중 하나이다. 연료 전지 시스템은 재 사용성, 환경 친화성과 같은 장점들을 가지고 있어서 다양한 분야에서 새로운 전력원으로서의 이용이 기대되고 있다. 연료 전지 시스템에서는 승압 컨버터를 사용하여 연료 전지 출력 전압을 승압 시킨 후 인버터를 전원 시스템과 연계시키는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 승압이 가능한 Z-소스 인버터를 이용한 시스템을 구성하였다. 특히 상대적으로 전력이 높은 시스템에 사용되는 경우 병렬 운전을 필요로 한다.[1]

Z-소스 인버터의 병렬 운전은 파라메타 불일치 때문에 전류의 불균형, 순환 전류 발생, 전력 불평형과 같은 문제를 야기시킬 수 있다. 본 논문에서는 연료 전지 시스템을 위한 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템에서 발생하는 순환 전류 문제를 해결하기 위한 보상 기법을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

2. 연료 전지 시스템을 위한 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템

그림 1은 연료 전지 시스템을 포함한 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 토폴로지를 나타낸다. 병렬 운전은 두 개의 다른 시스템이 하나의 부하에 병렬로 연결된 것을 의미한다. 만약 Z-소스 네트워크 L, C의 파라메타와 각 시스템의 스위칭 시간

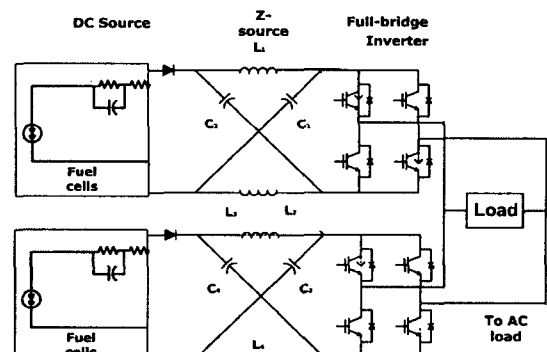


그림 1 연료 전지 시스템을 포함한 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 토폴로지

이 완전히 일치하지 않는다면 병렬 운전은 파라메타와 스위칭 시퀀스의 불일치 때문에 전류의 불 평형, 순환 전류, 전력 불 평형과 같은 문제를 갖게 된다. 본 논문에서는 병렬 운전시 발생하는 문제점 중 순환 전류를 분석하고 이를 보상하는 방법을 제시하였다.

2.1 Carrier Phase Shifted SPWM

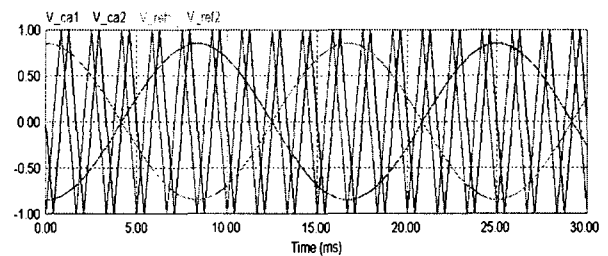


그림 2 Carrier phase shifted SPWM

그림 2는 carrier phase shifted SPWM을 나타낸다. 두 개의 삼각파 캐리어 신호와 기준 신호를 보여주는데 삼각파 캐리어 신호 중 하나는 다른 신호와 비교하여 90° 위상이동 되었다. Carrier phase shifted SPWM 기법은 부하에 흐르는 전류에 고조파 성분을 줄이기 위해 적용된다. 고 전력 시스템에서 시스템이 효율적으로 운전하기 위해서는 삼각파 캐리어 신호의 주파수(f_c)와 기준 신호의 주파수(f_r) 비(f_c/f_r)가 낮아야 한다. 고 전력 시스템에서 일반적인 SPWM 기법을 적용하

는데 있어서의 단점을 보완하기 위해서 carrier phase shifted SPWM 을 사용한다[2]. 고 전력 병렬 운전 시스템에 carrier phase shifted SPWM의 사용은 부하로 흐르는 전류의 고조파 성분을 줄일 수 있으나, Z-소스 인버터 시스템에서 스위칭 시간의 불일치를 야기하기 때문에 순환 전류를 발생시킨다.

2.2 순환 전류

일반적으로, 병렬 운전 시스템에서 공통 DC 소스를 사용하는 경우 파라메타와 스위칭 시간의 불일치가 발생할 때 하나의 인버터 출력 전류가 다른 인버터로 흐르게 된다. 다시 말해 두 인버터 시스템은 공통 소스와 부하 사이에 하나의 전원으로 연결되어 각 인버터의 출력 전류가 연결된 또 다른 인버터에 흐르게 된다. 이러한 전류를 순환 전류라고 정의한다. Z-소스 인버터 시스템은 일반적인 인버터 시스템과 비교할 때 많은 장점을 가진다. 그러나 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전의 경우 이러한 순환 전류 문제를 갖는다. 특히 Z-소스 네트워크는 시스템이 공통 DC 소스를 가지고 있지 않은 경우에도 순환 전류를 흐르게 하는 폐 루프를 형성하는 역할을 한다. 그림 3은 병렬운전 시스템에서 순환전류가 흐르는 모드를 보여 준다.

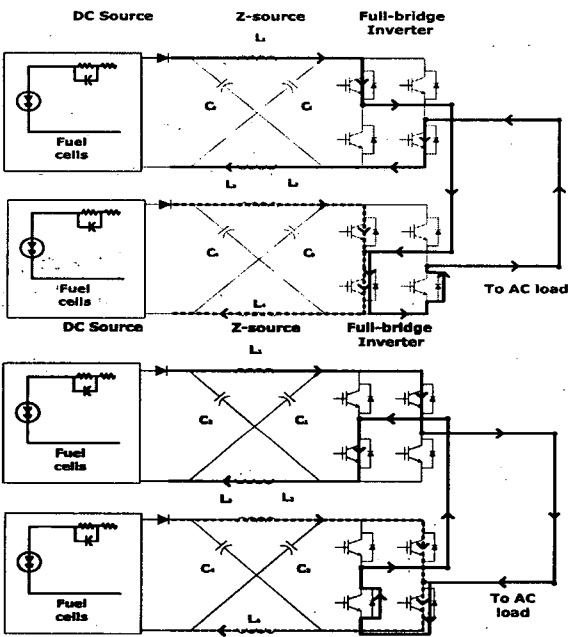


그림 3 병렬 운전 시스템의 순환 전류 흐름 모드

2.3 순환 전류의 보상 기법

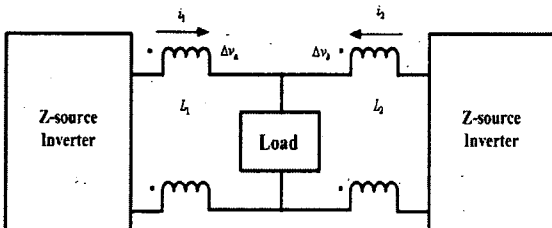


그림 4 리액터를 포함한 병렬 운전 시스템

각 인버터를 통해 흐르는 순환 전류를 감소시키기 위해 리액터를 Z-소스 인버터에 출력단 양단에 설치하였다. 그림 4는 순환 전류를 완화하기 위해 리액터를 포함한 병렬 운전 시스템을 나타낸다. L1과 L2는 리액터이다. 또한, 순환전류를 더 감소시키기 위해 커플링 인덕터를 사용한 방법을 추가적으로 제시 하였다. 커플링 인덕터의 턴 수가 같다고 가정하면 각 인덕터의 자기 인덕턴스는 같은 값을 가지며 인덕턴스 전압과 전류의 관계는 다음과 같다.

$$\Delta v_a = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$\Delta v_b = L_2 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

만약 전류 i_1 과 i_2 가 같다면 인덕턴스 전압 Δv_a 와 Δv_b 는 다음과 같다.

$$\Delta v_a = (L_1 - M) \frac{di_1}{dt}$$

$$\Delta v_b = (L_2 - M) \frac{di_2}{dt}$$

여기서 M 은 상호 인덕턴스이다.

3. 시뮬레이션 결과

Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템에서 carrier phase shifted SPWM 기법을 사용함으로써 발생하는 순환 전류를 완화하기 위한 리액터 사용의 타당성을 확인하기 위해 PSIM을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 시뮬레이션 조건

시뮬레이션을 위한 시스템 파라메타는 다음과 같다. $V_{ideal_fuel_cell}=10V$, Z-소스 네트워크 파라메타 $L1=L2=L3=L4=L=930\mu H$, $C1=C2=C3=C4=C=1500\mu F$ 이다. 변조 지수 M 은 0.85로 설정하고, shoot-through 구간 대 스위칭 주기 비율은 $T0/T=0.1014$ 로, 스위칭 주파수는 1.2 kHz로 설정한다. 부하는 10Ω 인 저항성 부하이다. 리액터 값은 3mH이다. 부하 전류의 고조파 성분을 줄이기 위해 각 인버터의 스위칭 시퀀스는 carrier phase shifted SPWM 기법을 사용하였다.

3.2 리액터를 포함하지 않는 병렬 운전 시스템

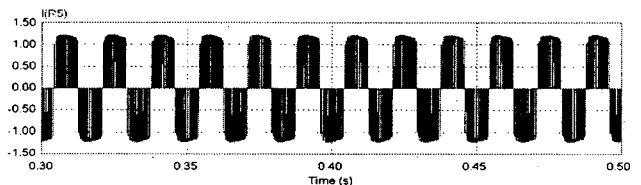


그림 5 Carrier phase shifted SPWM을 사용하지 않았을 때의 부하 전류

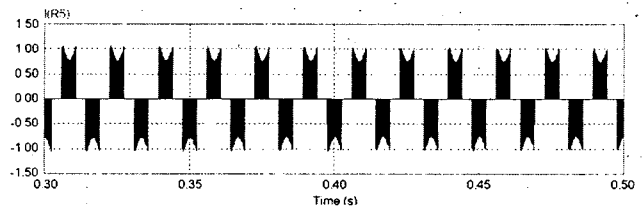


그림 6 90° carrier phase shifted SPWM을 사용하였을 때의 부하 전류

그림 5와 6은 각각 90° carrier phase shifted SPWM을 사용하지 않았을 때와 사용했을 때의 부하로 흐르는 전류를 나타낸다. 이 부하 전류는 왜곡과 고조파 성분을 포함한다. 얼마나 많은 순환전류가 각 인버터 사이에 흐르는지를 살펴보기 위해 병렬 운전 시스템의 부하 조건을 무 부하라고 가정한다.

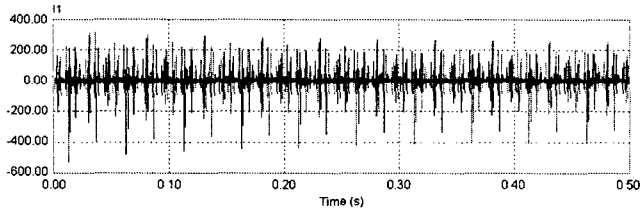


그림 7 리액터를 포함하지 않았을 때의 순환 전류

그림 7은 carrier phase shifted SPWM을 사용했을 때의 Z-소스 인버터 사이로 흐르는 순환 전류를 나타낸다. 인버터로 흐르는 순환 전류의 피크 값은 약 260A 정도이다. 만약 이 순환 전류가 인버터로 흐르게 되면 인버터 시스템의 스위칭 소자는 파괴 될 수도 있다. 그러므로 안정성을 위해 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템에서 부하로 흐르는 전류의 고조파 성분을 줄이기 위해 carrier phase shifted SPWM을 사용시에 발생하는 순환 전류를 막아야 한다.

3.3 리액터를 포함한 병렬 운전 시스템

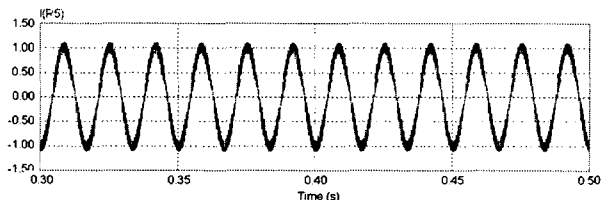


그림 8 Carrier phase shifted SPWM을 사용하지 않았을 때의 부하 전류

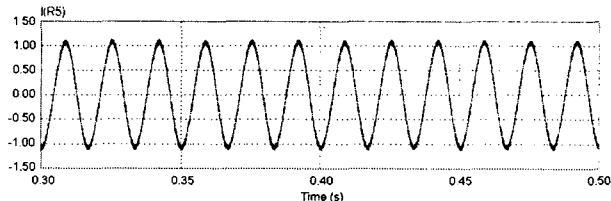
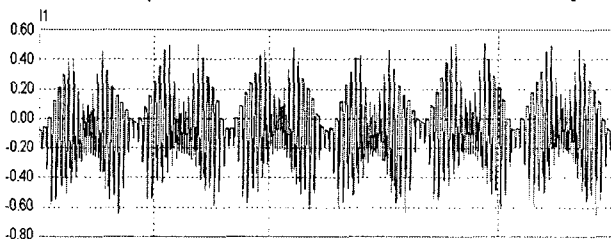
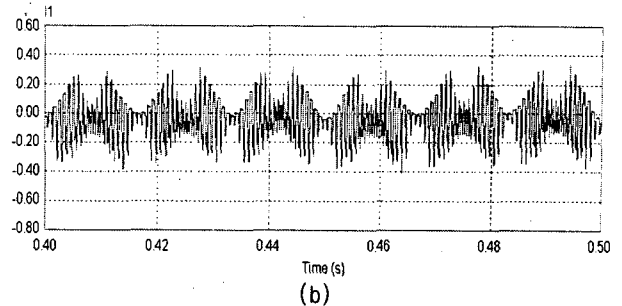


그림 9 90° carrier phase shifted SPWM을 사용하였을 때의 부하 전류

병렬 운전에서 carrier phase shifted SPWM을 사용함으로써 발생하는 순환 전류를 막기 위해 리액터를 각 인버터의 출력단 양단에 설치한다. 그림 8과 9는 carrier phase shifted SPWM을 사용하지 않았을 때와 90° carrier phase shifted SPWM을 사용했을 때의 부하 전류를 나타낸다. 전류 리플은 carrier phase



(a)



(b)

그림 10 리액터로 감소된 순환 전류

(a) 커플링 인덕터를 사용하지 않았을 때의 감소된 순환전류
(b) 커플링 인덕터를 사용하였을 때의 감소된 순환전류

shifted SPWM을 사용했을 때 줄어듦을 알 수 있다. 그러나 carrier phase sifted SPWM은 순환 전류를 발생시킨다. 그러므로 각 인버터를 통해 흐르는 순환 전류를 완화하기 위해 Z-소스 인버터 각 출력단 양단에 커플링 리액터를 설치한다.

그림 10은 리액터를 설치하였을 때 인버터 간에 흐르는 순환 전류를 나타낸다. (a)는 커플링 인덕터를 사용하지 않았을 때의 감소된 순환 전류이고 (b)는 커플링 인덕터를 사용했을 때의 감소된 순환 전류이다. 그림 8과 비교할 때 인버터 사이에 흐르는 순환 전류는 리액터에 의해 매우 작은 크기로 줄어듦을 알 수 있다. 또한 커플링 인덕터를 사용했을 때가 커플링 인덕터를 사용하지 않았을 때 보다 순환 전류의 크기가 두 배 가량 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 리액터에 의해 순환 전류가 매우 크게 감소 되었고 커플링 인덕터를 사용하는 것이 순환 전류를 더 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다.

완전하게 순환 전류를 제거할 수는 없지만 리액터를 통해 그 크기가 줄어듦을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 연료 전지를 위한 Z-소스로 구성된 병렬 운전 시스템을 제안 하였다. Carrier phase shifted SPWM은 부하 전류의 고조파 성분을 줄이는 장점을 갖는다. 그러나 carrier phase shifted SPWM은 병렬 운전에서 순환 전류를 발생시킴을 확인 하였다. 인버터 출력단의 순환 전류를 대폭 감소시키며, 부하 전류 고조파 성분을 낮추고, 높은 성능을 유지하기 위해 순환 전류 리액터를 사용하였다.

시뮬레이션을 통하여 리액터가 Z-소스 인버터로 구성된 병렬 운전 시스템에서 carrier phase shifted SPWM을 사용함으로써 발생하는 순환 전류 문제를 해결할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업으로 수행된 논문입니다

참고 문헌

- [1] Fang Zheng Peng, "Z-source inverter", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol. 39, Issue: 2, March-April 2003, Pages: 504 - 510.

- [2] Z. C. Zhang, etc., "Multi-modular current-source SPWM converter for superconducting magnetic energy storage system", IEEE Trans on PE, Vol.8, No.3, 1993, Pages: 250-256.
- [3] Yu Xiong; Yin Hai Zhang, Kun Wei, Zhongchao Zhang, "Carrier phase-shifted SPWM based current-source multi-converter", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE , Vol. 1 , 9-13 Feb. 2003, Pages: 89 - 93.
- [4] Yoon-Ho Kim, Sang-Sun Kim, "An electrical modeling and fuzzy logic control of a fuel cell generation system", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Vol. 14, Issue: 2, Jun 1999, Pages: 239 - 244.
- [5] Munammad H. Rashid, "Power Electronics", 2nd Edition, Prentice Hall, 1993.
- [6] B. K. Bose, "Modern Power Electronics and AC Drives", Prentice Hall PTR, 2002.