

계통연계형 연료전지 PCS의 Seamless Transfer를 위한 개선된 3상 간접전류제어 기법

윤선재, 김형진, 오형민, 최세완
서울산업대학교

Improved Indirect Current Control of 3-Phase Fuel Cell Utility Interactive Inverter for Seamless Transfer

Sunjae Yoon, Hyungjin Kim, Hyungmin Oh, Sewan Choi
Seoul National University of Technology

ABSTRACT

발전용 연료전지 시스템에서 PCS는 계통에 고장 발생시 MBOP등 전용부하에 지속적인 전력을 공급하기 위하여 모드 전환하여 단독운전을 해야 한다. 기존의 제어방식은 계통연계 시 전류제어를, 단독운전 시 전압제어를 하기 때문에 이러한 모드 전환 시 전용부하는 심각한 과도상태에 놓이게 된다. 본 논문에서는 모드 전환에 따른 전압의 과도현상을 최소화하기 위한 개선된 간접전류제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 방식은 기존의 알고리즘보다 연산량이 작아 구현이 간단하며 제어기의 모델링이 가능해져 제어 파라미터 설정이 용이해졌다.

1. 서 론

연료전지 발전시스템은 고효율과 다양한 연료를 이용할 수 있다는 장점 때문에 미래의 분산발전 시스템으로서 주목을 받고 있다. 연료전지 발전시스템은 계통에 전류를 주입하는 중에 MBOP 등 중요부하에도 안정된 전원을 공급해야 하며, 계통에 전압이상 및 주파수 이상, 정전이 발생하는 경우 의도적인 단독운전으로 전환해야 한다.^[1] 기존의 계통연계 제어방식은 이러한 상황에서 전류제어에서 전압제어로 모드를 전환해야 하므로 인버터전압에 과도상태가 심하게 발생하여 중요부하에 큰 영향을 미칠 수 있다.^[2] 더욱이 통신지연 및 검출알고리즘의 연산지연 등으로 상당한 시간동안 MBOP 등 중요부하에 공급전압이 심한 과도상태에 놓이게 되면 연료전지 스택에 심각한 영향을 줄 수 있게 된다. 따라서 연료전지 PCS의 모드 전환 시 인버터는 출력전압의 과도현상을 최소화하는 Seamless Transfer 기술이 필수적이다.

이러한 모드전환 시 과도상태를 최소화하기 위하여 계통 연계 시 전류제어를 하면서 스위치의 상태를 피드백 받아 과도상태를 줄이는 방법^[3]이 제안되었는데 이 방법은 반주기 정도의 과도상태가 있으며 단독운전 검출 전에는 적용되지 않는다. 또한, SSR을 이용한 모드 전환 시 계통 측 L필터의 전압으로 스위치 전류를 급격히 감소시키는 방법^[4]은 인덕터가 매우 큰 단점이 있다. 또한, 이 방법은 SSR을 사용하는 경우에만 적용되고 단독운전 검출 전에는 보상하지 못한다.

최근, 계통이상 시에도 중요부하에 안정된 전압을 공급할 수 있도록 독립운전 시 뿐 아니라 계통연계 시에도 전압제어를 유지함으로써 단독운전 검출 후 뿐만 아니라 검출 전에도 과도상태 없이 모드 전환할 수 있는 간접전류 제어기법^[5]이 제안된

바 있다. 그러나 전압의 레퍼런스를 만들기 위해 복잡한 연산을 필요로 하며 제어기 모델에 의한 해석이 불가능하므로 제어 파라미터 설정이 어려운 단점이 있었다.

본 논문에서는 인버터의 모델을 고려한 개선된 간접전류 제어기법을 제안한다. 제안한 간접전류 제어기법으로 전압 레퍼런스 연산량이 작아 구현이 간단해졌으며 제어기의 모델링이 가능해져 제어 파라미터 설정이 용이해졌다.

2. 개선된 간접전류제어 기법

그림 1은 발전용 연료 전지 시스템의 구성도이며, 그림 2는 간접전류제어^[5] 기법의 원리를 나타내는 벡터도이다. 인버터 출력전압 V_{CF} 를 제어하여 함으로서 L_g 전류를 간접적으로 제어한다. 그림 2의 벡터도에 의해 제어해야 할 인버터 출력전압 레퍼런스는 다음과 같다.

$$V_{CF}^d = |V_{Lg}| = I_{Lg}^q \times \omega L_g \quad (1)$$

$$V_{CF}^q = |V_{ut}| \quad (2)$$

그림 3에 개선된 간접전류제어 알고리즘의 블록도를 나타내는데 식(1),(2)의 전압 d,q축 레퍼런스에 계통 측 전류제어의 보상성분을 더해 최종 전압 레퍼런스를 얻음으로서 기존의 전압의 크기와 위상각을 계산하던 수식에 비해 연산이 간략화 되었으며, 제어블록에 Sin/Cos Table과 같은 비선형 블록이 없어 제어기 설계가 용이하다.

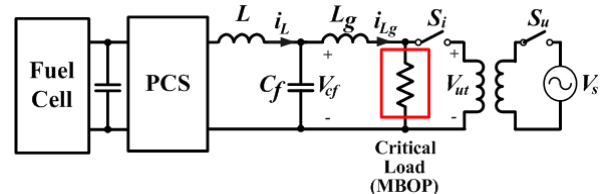


그림 1 연료전지 발전시스템 구성도

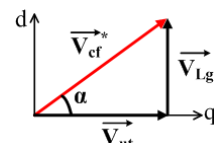


그림 2 제안하는 3상 간접전류 제어기법 벡터도

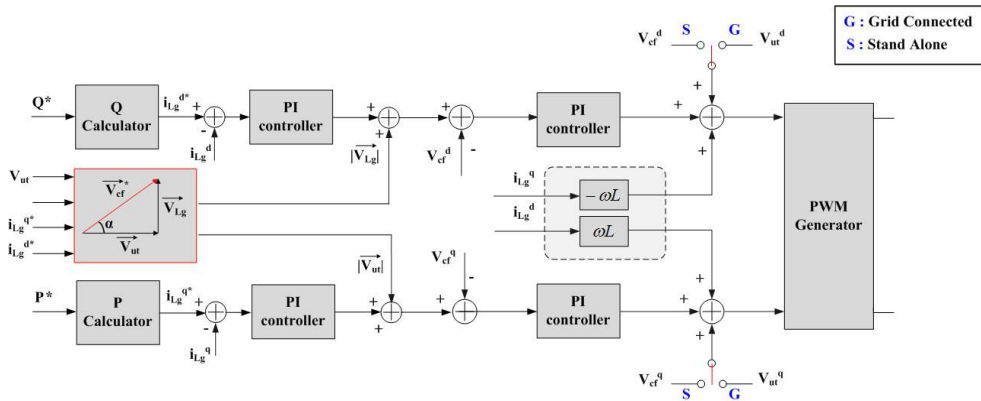


그림 3. 제안하는 간접전류제어 알고리즘 블록도

3. 실험 결과

개선된 3상 간접전류 제어기법을 검증하기 위해 다음과 같은 1kW급 시작품을 제작하여 실험 하였다.

$$\begin{aligned}
 \cdot P &= 1\text{kW} & \cdot V_{LL} &= 110\text{V} & \cdot f_s &= 6\text{kHz} \\
 \cdot L &= 1\text{mH} & \cdot C &= 3\mu\text{F} & \cdot L_g &= 5\text{m}
 \end{aligned}$$

그림 4는 인버터 출력 전류와 계통 전류가 부하에 전류를 분담하여 공급하는 상황으로 인버터 출력전류의 THD는 약 2% 이다. 그림 5를 통해 인버터 출력 전류인 2.35A만큼 계통 전압 A상 과 출력전압 A상이 약 4°의 위상차가 있음을 볼 수 있고, 출력전류 A상과 계통전압 A상이 위상이 일치함을 볼 수 있다. 그림 6은 인버터가 모드 전환하는 상태를 나타내는데 계통에 이상 검출 후 뿐만 아니라 검출 전에도 과도상태 없이 모드 전환되는 과정을 확인할 수 있다.

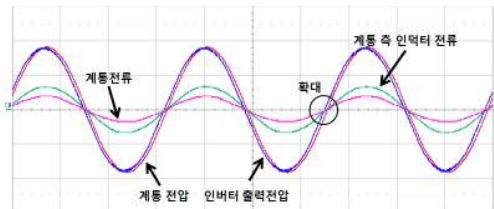


그림 4. 제안하는 간접전류제어 방식의 계통연계 실험파형 (인버터 출력전류 2.35A)

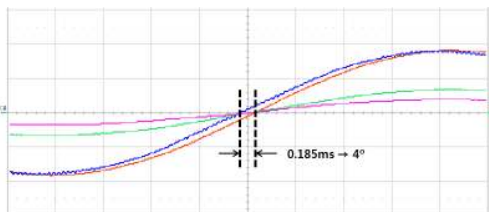


그림 5. 그림 4를 확대한 실험파형

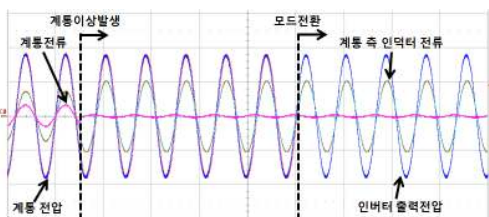


그림 6. 계통이상 발생 시 모드전환 실험파형

4. 결론

본 논문에서는 연료전지 발전시스템의 모드 전환 시 과도상태가 없고 구현 및 제어기 설계가 용이한 개선된 간접전류 제어기법을 제안하였다. 제안한 간접전류 제어기법으로 약 2%의 전류 THD를 달성하였으며, 계통 이상 시 부하전압에 과도상태 없이 모드 전환됨을 실험으로 검증하였다.

본 연구는 2008년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2008-N-FC12-J-04-2100)

참고 문헌

- [1] *Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems*, IEEE Std. 1547-2003.
- [2] Hyosung Kim, Taesik Yu, Sewan Choi, "Indirect Current Control Algorithm for Utility Interactive Inverters in Distributed Generation Systems" IEEE Trans. Power Electron, Volume 23, Issue 3, Page(s):1342 - 1347
- [3] Tai-Sik Hwang, Kwang-Seob Kim, Byung-Ki Kwon, "Control strategy of 600kW E-BOP for molten carbonate fuel cell generation system" ICEMS 2008. 17-20 Oct. 2008 Page(s):2366 - 2371
- [4] Guoqiao Shen, Dehong Xu, Xiaoming Yuan, "Instantaneous Voltage Regulated Seamless Transfer Control Strategy for Utility-interconnected Fuel cell Inverters with an LCL-filter" IPERC 2006. Volume 3, 14-16 Aug. 2006 Page(s):1 - 5
- [5] 권준범, 김영우, 최세완 "계통연계형 연료전지 PCS의 Seamless Transfer를 위한 3상 간접전류제어 기법" 전력 전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집, 2009. 7