

연료전지용 대용량 PCS의 독립운전 제어기법

Control Algorithm of PCS Consisting of Inverters Operating in Stand-alone Mode

Yun-Hyun Kim, Chang-Jin Lim, Kwang-Seob Kim

POSCO ICT Corporation R&D Center

Abstract

연료전지용 대용량 PCS는 다수의 인버터가 병렬로 구성되어 있으며, 계통에 연계하여 운전하거나 혹은 계통에 이상이 발생할 경우 독립운전모드로 운전해야 한다.

독립운전모드로 동작할 경우 각 인버터의 전류가 달라 불평형이 발생할 수 있으므로 부하 분담 제어가 필요하다.

본 논문에서는 부하 임피던스를 추정하여 각 인버터의 출력 지령을 계산하여 출력 전압을 제어하는 알고리즘을 제안하고, 시험을 통해 검증하였다. Master 인버터는 출력 주파수 및 전압을 제어하며, Slave 인버터는 PLL을 이용하여 출력 주파수를 추종하여 전류제어를 수행한다.

제한한 알고리즘을 검증하기 위해 대용량 PCS의 성능 검증장치를 구축하고, 제어 성능을 확인하였다.

1. 서론

대용량 연료전지용 PCS는 계통에 연계하여 전력을 출력하거나, 계통에 이상이 발생할 경우 계통으로부터 분리되어 독립운전모드로 운전해야 한다.

독립운전모드로 동작할 경우 출력 전압, 주파수를 일정하게 제어하며 각 인버터간의 전류 불평형이 발생할 수 있으므로 부하 분담 제어가 필요하다. 즉, 각 인버터의 출력 주파수와 진폭, 위상각이 동기되어 부하를 균등하게 분담하도록 제어해야 한다. 부하 분담에 실패할 경우, 각 인버터간에 순환전류가 발생하고 이는 시스템의 용량감소, 수명단축을 야기하며 전력소자 및 전장품의 파괴를 초래할 수도 있다.

본 논문에서는 부하 임피던스를 추정하여 각 인버터의 출력 지령을 계산하고, 출력전압을 제어한다. 각 인버터는 Master/Slave 구조이며, Master는 출력주파수 및 전압을 제어하며, Slave는 PLL을 이용하여 출력주파수를 추종하는 알고리즘을 제안한다.

2. 본론

2.1 대용량 PCS의 제어시스템

3MW 연료전지용 PCS는 PCU(Power Conditioning Unit)와 변압기가 병렬로 연결되고, 출력이 Switchgear로 통합되는 구성이며, PCU는 2대의 인버터를 포함한다. 또한 PCU는 시스템 제어기와 인버터 제어기를 가지고 있다.

시스템 제어기는 전체시스템의 상태정보를 수집하고, 분석하는 역할을 수행하며, EBOP 시스템의 동작시퀀스를 결정한다. 이를 위해 상위 PLC와 Modbus/TCP 통신을 한다. 또한 IEEE 1547 규격에서 요구하는 단독운전 검출 및 과/저전압, 과/저주파수 등의 계통보호 기능을 수행한다.

인버터 제어기는 주로 인버터를 제어하기 위한 게이팅 출력, 전류제어, 전압제어, 필터제어 등을 수행하며, eCAN 통신을 이용하여 시스템 제어기로부터 명령 및 지령 값을 수신하거나 상태정보를 전송한다.

병렬로 연결된 PCU를 제어하기 위해 시스템 제어기와 통신보드를 이용하여 TCP/IP 통신을 한다. 그림 1에 대용량 PCS의 제어시스템을 나타내었다.

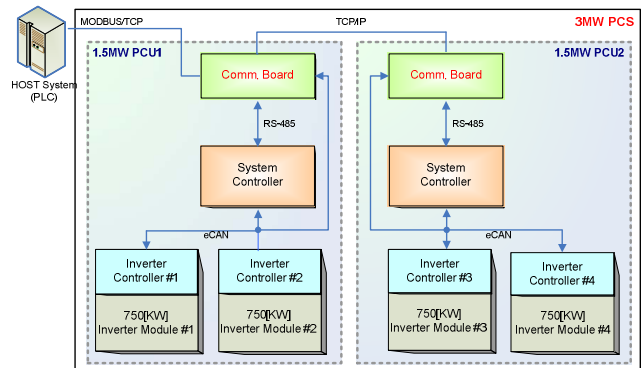


그림 1 대용량 PCS의 제어시스템 구성도

2.2 독립운전 제어기법

계통에 이상이 발생할 경우 독립운전모드로 동작하여 기생부하 또는 특별부하로 전력을 공급하며 출력전압은 정격전압의 $\pm 10\%$, 출력주파수는 59.3~60.5Hz 범위(ANSI 규격 요구사항) 내로 일정하게 유지해야 한다.

독립운전모드로 동작할 경우 부하 임피던스를 추정하여 각 인버터간에 부하를 균등하게 분담하도록 제어한다. 각 인버터 제어기는 출력 유효전력, 무효전력을 계산하여 시스템 제어기로 전송한다. 각 인버터의 출력 유효전력, 무효전력은 식1과 같이 표현된다.

$$P_{on} = \frac{3}{2} \text{Re}(V_{odq} \times \bar{I}_{ondq}) \quad (1)$$

$$Q_{on} = \frac{3}{2} \text{Im}(V_{odq} \times \bar{I}_{ondq})$$

시스템 제어기는 각 인버터의 출력 유효, 무효전력의 평균을 계산하여 각 인버터로 출력 지령을 전송한다. 각 인버터의 출력 지령은 식2와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_o^* = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_{on}, \quad Q_o^* = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Q_{on}, \quad (N = \text{인버터 수}) \quad (2)$$

각 인버터는 수신된 출력 유효전력, 무효전력 지령으로 부하 임피던스를 추정하여 출력 전류 지령을 계산한다. 각

인버터의 출력 전류 지령은 식3과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{odq}^* = V_{odq}^* \times Z^{-1}, Z^{-1} = \frac{2}{3} \frac{P_o^*}{V_{od}^2 + V_{oq}^2} + j \frac{2}{3} \frac{Q_o^*}{V_{od}^2 + V_{oq}^2} \quad (3)$$

각 인버터는 Master/Slave 구조이며, Master는 출력주파수 및 전압을 일정하게 제어하며, Slave는 PLL을 이용하여 출력주파수를 추종하여 출력전류를 제어한다. 그림 2에 독립운전모드로 동작할 경우 대용량 PCS의 제어기 구성을 나타내었다.

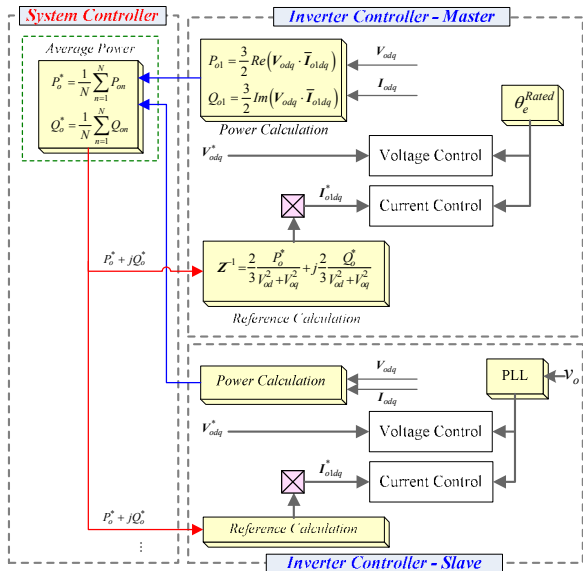


그림 2 독립운전모드 제어기 구성도

2.3 실험 결과

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 대용량 PCS의 성능 검증장치를 구축하였다. 특별부하를 모의하기 위해 용량을 가변할 수 있는 저항 부하를 PCS의 출력에 연결하였다.

대용량 PCS의 PCC(Point of Common Coupling) 차단기를 동작시켜 계통 사고를 모의하였고, 계통에 이상이 발생할 경우 독립운전모드로의 전환 특성을 실험하였다.

그림 3은 특별부하에 PCS 정격의 50% 부하를 연결하고, 계통에 연계되어 정격 전력을 출력할 때, 계통에 사고가 발생하여 독립운전모드로 전환한 파형이다. 독립운전 전환시, 수 사이클 이내에 출력전압, 출력주파수가 ANSI 범위 이내로 제어되고, 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

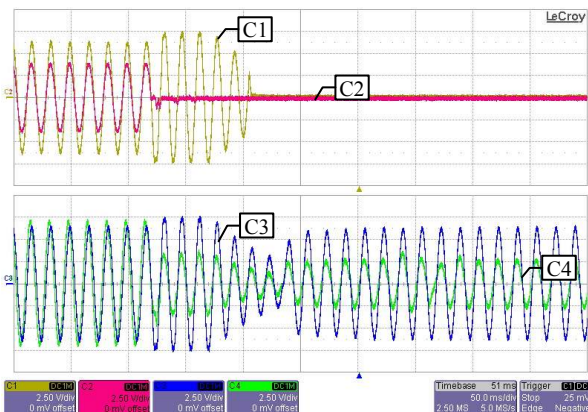


그림 3 50% 부하 시, 독립운전모드 전환 파형, C1: 계통전압[0.4pu/div], C2: 계통전류[0.3pu/div], C3: 출력전압[0.4pu/div], C4: 출력전류[0.3pu/div]

그림 4는 특별부하에 부하를 연결하지 않은 상태에서 대용량 PCS를 계통에 연계하여 정격 전력을 출력하다가 계통에 사고가 발생하여 독립운전모드로 전환한 파형이다. 무부하 시에도 출력전압, 출력주파수가 일정하게 유지하는 것을 확인할 수 있다.

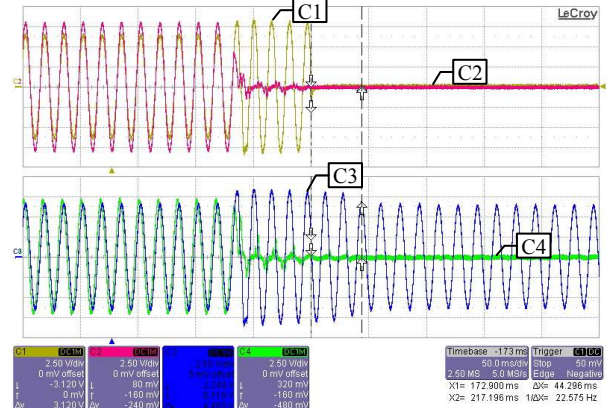


그림 4 무부하 시, 독립운전모드 전환 파형, C1: 계통전압[0.4pu/div], C2: 계통전류[0.3pu/div], C3: 출력전압[0.4pu/div], C4: 출력전류[0.3pu/div]

50% 부하 시, 독립운전모드 정상운전 상태의 출력전압, 전류 파형이 그림 5이다. 각 인버터 간에 출력이 균등하게 분담되어 제어됨을 알 수 있다.

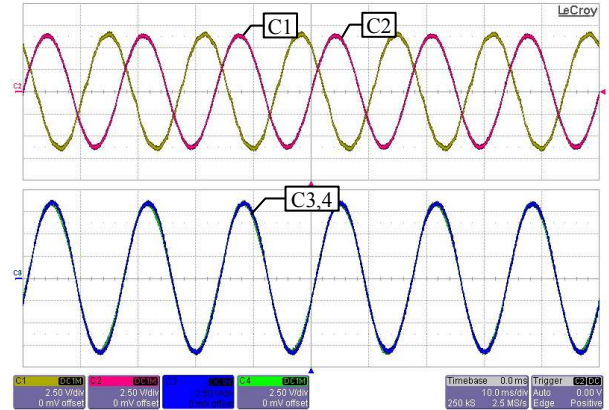


그림 5 50% 부하 시, 독립운전모드 정상상태 파형, C1: 계통전압[0.4pu/div], C2: 출력전압[0.4pu/div], C3,4: 인버터#1,2 출력전류[0.3pu/div]

3. 결론

본 논문에서는 대용량 PCS가 독립운전모드로 동작할 때 인버터의 전류 불평형을 제어하는 방법을 제안하였다. 부하 임피던스를 추정하여 각 인버터의 출력 지령을 계산하고, 출력 전압을 제어한다. 이를 위해 Master 인버터는 출력 주파수 및 전압을 제어하며, Slave 인버터는 PLL을 이용하여 출력 주파수를 추종하여 전류제어를 수행한다. 대용량 PCS의 성능검증장치를 구축하여 실험 결과를 통해 제안된 독립운전 제어기법의 성능을 입증하였다.

Reference

- [1] 김광섭, "발전용 연료전지(MCFC) 시스템을 위한 대용량 EBOP 시스템 개발 및 실증시험", 전력전자학회, 2009
- [2] 이우철, 현동석, "다른 정격용량을 가진 3 상 UPS 시스템의 병렬운전을 위한 주종제어 기법", 전력전자학회 논문지, v.9, no.4, 2004, pp.341-349