

스마트 인버터 기능 검증을 위한 실시간 디지털 시뮬레이터를 활용한 Hardware in the loop simulation 환경 구축

김기룡, 오창열, 박영주, 제갈준혁, 이종필, 권민호
한국전기연구원 전력변환시스템연구센터

Establishment of Hardware in the loop simulation environment using real-time digital simulator for verification of smart inverter function.

Kiryong Kim, Chang-Yeol Oh, Youngju Park, Jun-Hyeok Jegal, Jong-Pil Lee, Minhoo Kwon
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

ABSTRACT

탄소 중립 목표로 인해 재생에너지를 보급률이 증가하고 있다. 재생에너지원의 출력 변동성 및 불확실성으로 인해 기존 전력 계통 시스템 안정성 및 신뢰성에 대한 고려가 필요하다. 이에 기존 전력 계통과 인버터 기반 분산 발전 상호 운용을 위한 표준의 요구 조건들을 지원할 수 있는 스마트 인버터에 대한 수요가 증가하고 있다. 따라서, 이러한 스마트 인버터 기능들에 대해 검증할 수 있는 환경이 필요하다. 본 논문에서는 실시간 디지털 시뮬레이터를 이용하여 구축한 제어기 기반의 Hardware in the loop simulation (HILs) 환경을 소개한다. 또한, 다양한 계통 시나리오들을 HIL 환경에서 모사하고 실제 제어기 기반 인터페이스를 통해 스마트 인버터의 기능 동작을 검증하였다.

1. 서론

탄소 중립 목표로 인해 재생에너지를 보급률이 증가하고 있다. 재생에너지원의 출력 변동성 및 불확실성으로 인해 기존 전력 계통 시스템 안정성 및 신뢰성에 대한 고려가 필요하다^[1]. 이에 기존 전력 계통과 인버터 기반 분산 발전 상호 운용을 위한 표준의 요구 조건들을 지원할 수 있는 스마트 인버터에 대한 수요가 증가하고 있다^[2]. 스마트 인버터 기능들을 계통 환경에 따라 동작하기 때문에, 실제 계통과 연계하여 실험하기에는 어려움이 존재한다. 따라서, 검증하고자 하는 알고리즘에 따라 계통 환경을 모사할 수 있는 환경 구축이 필요하다. 본 논문에서는 실시간 디지털 시뮬레이터를 이용하여 구축한 제어기 기반의 Hardware in the loop simulation (HILs) 환경을 소개한다. 또한, 다양한 계통 시나리오들을 HIL 환경에서 모사하여, 스마트 인버터의 기능들이 동작이 잘 동작하는 것을 보여주고자 한다.

2. 스마트 인버터 기능

스마트 인버터는 전력 계통의 안정성 유지 및 신뢰성을 확보하기 위해서 다양한 기능을 갖는다. 일반적으로 스마트 인버터에 요구되는 기능들은 표 1에서 소개한다. 먼저 유효 및 무효전력 지령을 주어 인버터가 지령대로 동작하게 하는 기능, 특정 역률 값으로 동작하도록 하는 기능뿐만 아니라, 인버터가

계통 전압의 크기에 따라 무효이나 유효 전력을 제어하거나, 계통 주파수에 따라 유효 전력을 자동으로 제어하는 기능들이

표 1 스마트 인버터 계통 지원 기능 분류
Table 1 Smart Inverter functions table

번호	기능
1	전압-무효전력 제어 (Volt-Var)
2	고정 역률 제어 (Fixed Power-Factor)
3	전압-유효 전력 제어 (Volt-Watt)
4	유-무효전력 지령 제어 (Set point)
5	주파수-유효전력 제어 (Frequency-Watt)
6	전압 지속 운전 (Voltage Ride Through)
7	주파수 지속 운전 (Frequency Ride Through)

스마트 인버터에 요구된다. 그뿐만 아니라, 스마트 인버터는 필요에 따라서 특정 상황에서도 동작하도록 요구받는다. 대표적으로 과/저전압 지속운전 및 과/저주파수 지속운전이 있다. 계통 전압이나 주파수가 특정 범위에 존재할 때, 일반적인 인버터의 경우 동작 중지하면 되지만, 스마트 인버터는 그 범위에 따라 요구되는 동작을 수행하도록 요구된다.

3. HIL 환경 구축

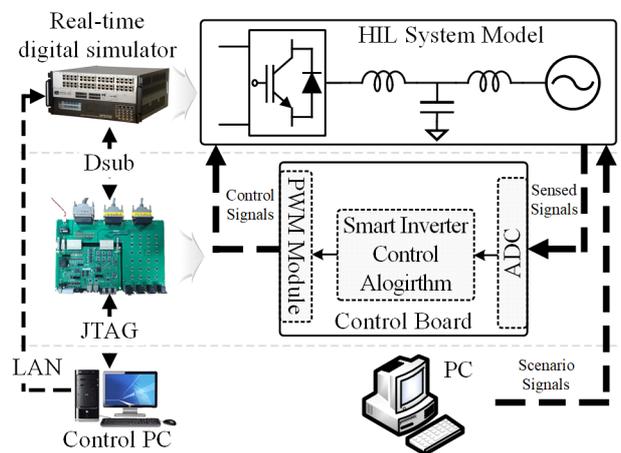


그림 1 제어기 기반 HIL 환경 구성도
Fig. 1 Configuration of controller-based HIL environment

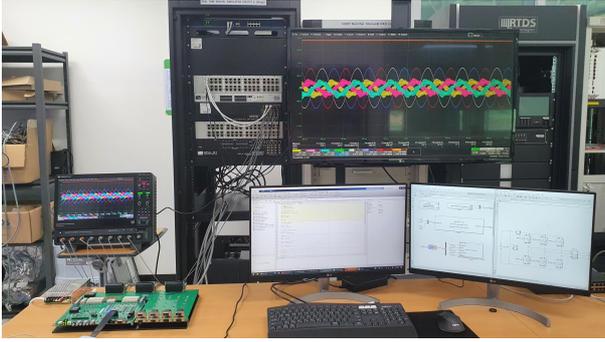


그림 2 스마트 인버터 HIL 환경 구축 사진
Fig. 2 Smart Inverter HIL Environment Setup

스마트 인버터에 요구되는 기능은 계통의 변화에 따른 특정 동작들이 요구된다. 하지만 실제 계통에 접속한 실험의 경우 여러 제약사항이 존재한다. 따라서 실제 계통 환경과 유사한 시뮬레이션 환경 조성이 필요하다. 본 논문에서는 실시간 디지털 시뮬레이터인 Opal-rt 장비를 사용하여 계통 환경을 모사하였으며, TI사의 28377D DSP 제어기를 사용하여 스마트 인버터 제어 알고리즘을 검증하였다. Opal-rt와 DSP 제어기 이중 하드웨어의 디지털 신호와 아날로그 신호를 각 환경에 맞게 연결하기 위해 별도의 인터페이스 보드를 제작하여 전체 HIL 환경을 구축하였다. 제어 PC와 제어 보드는 JTAG, Opal-rt 장비는 LAN을 통해 통신이 이루어지는 것을 그림 1을 통해 확인할 수 있다. Opal-rt는 하드웨어 시스템을 모델링하고 제어에 필요한 정보를 제공한다. 이 정보를 통해 제어 보드에서는 스마트 인버터 알고리즘을 동작시키고 그 결과를 다시 Opal-rt로 제공한다. 그리고 PC에서는 스마트 인버터 동작 확인을 위한 계통 시나리오를 Opal-rt로 전송한다. 그림 2는 스마트 인버터 알고리즘을 검증하기 위해 구축된 HIL 환경을 보여준다.

4. HIL 시뮬레이션 결과

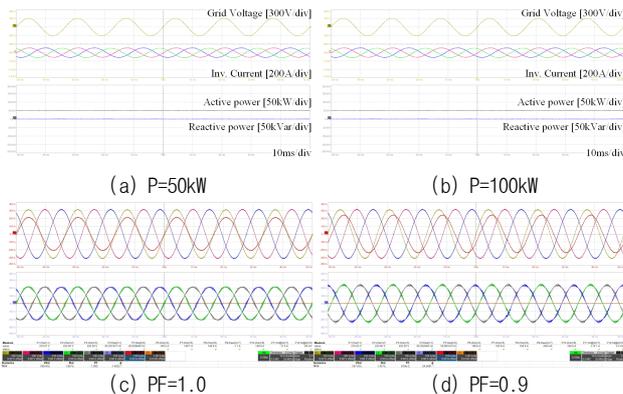


그림 3 스마트 인버터 기능 (a),(b) 지령 제어 (c),(d) 역률제어
Fig. 3 Result waveform of smart inverter function (a),(b) set point control (c),(d) fixed power-factor control

구축된 HIL 환경에서 스마트 인버터 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 3의 경우 스마트 인버터의 출력 전력 지령이나 역률을 설정하여 인버터가 동작을 수행한 결과를 보여준다. 그림 5 (a), (b)는 출력 전력을 각각 50kW와 100kW로 설정했을 때, (c), (d)는 역률을 1과 0.9로 설정했을 때 파형을 보여준다.

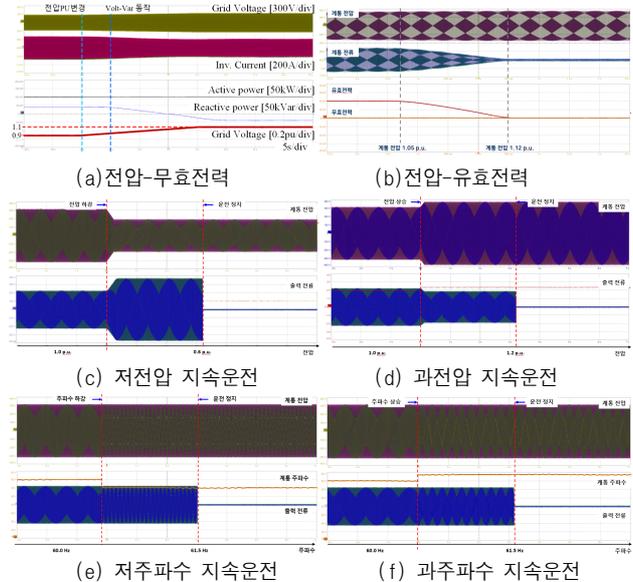


그림 4 스마트 인버터 기능 (a)전압-무효전력, (b)전압-유효전력, (c) 저 전압 지속 운전, (d) 과전압 지속 운전, (e) 저 주파수 지속 운전, (f) 과 주파수 지속운전
Fig. 4 Result waveform of smart inverter function (a)Volt-Var, (b)Volt-Watt (c)L-VRT, (d)H-VRT, (e)L-FRT, (f)H-FRT

그림 4는 스마트 인버터 계통 상태에 따른 동작을 보여준다. 그림 4 (a),(b)는 계통 전압 변화에 따른 무효전력 변화와 유효전력 변화를 보여주며, (c),(d)는 계통의 저전압과 과전압 상태에서의 인버터 지속운전을 보여주며, (e),(f)는 계통의 주파수에 따른 스마트 인버터의 동작을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 실시간 디지털 시뮬레이터를 이용하여 제어기 기반으로 구축한 HILs 환경에서 다양한 계통 환경을 구현하여, 스마트 인버터에 요구되는 계통지원 기능에 대한 동작을 검증하였다. 실제 제어기를 이용할 수 있도록 HIL 환경을 구축하였기 때문에, 제품 개발 시 작성한 알고리즘 코드를 바로 적용할 수 있다는 장점이 있다.

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 기본사업(No. 23A01008)에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] "IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces," in IEEE Std 1547-2018 (Revision of IEEE Std 1547-2003), pp.1-138, 6 April 2018.
- [2] "Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-7: Object models for power converters in distributed energy resources (DER) systems," in IEC TR 61850-90-7:2013, Feb 2013.