

단상 계통연계형 태양광 인버터의 FRT 제어 방법

박영호, 류승표
현대중공업

FRT Control Method for Single-Phase Grid Connected Photovoltaic Inverter

Young-Ho Park, Seung-Pyo Ryu
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

계통에 사고가 발생하면 순간 전압저하로 계통에 연계하여 운전 중인 태양광 인버터가 정지하거나 운전을 계속하더라도 전압 복귀 시의 제어성능에 따라 출력전류가 불안정하게 될 가능성이 있다. 또한, 2선 단락 사고가 상위에서 발생하면 하위 단상 계통에서는 위상 급변의 형태로 나타나므로 인버터가 정지할 수 있다. 이러한 요인으로 분산형 전원의 설치 용량이 증가할 수록 송전선 등에서 사고 발생 시, 계통 안정성에 주는 영향을 무시할 수 없게 되므로 FRT(Fault Ride Through) 성능이 필요하다.

본 논문에서는 순시 전압저하 및 위상 급변에 대해 운전을 계속하고, 전압 복귀 시 안정적인 전류제어가 가능한 FRT 제어 방법을 제시하고, 그 유효성을 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

태양광 발전시스템 등의 분산형 전원이 전력 계통에 대용량으로 연계하여 발전 운전 중에 계통에서 사고가 발생하여 동시에 운전 정지하면 발전 설비의 급격한 차단으로 전력 품질에 큰 영향을 줄 수 있다. 조건에 따라 대용량 발전 설비의 동시 탈락은 계통 전체의 전압과 주파수 유지에 영향을 줄 수 있으며, 계통 전체의 수급 밸런스가 무너져 계통 안정성에 큰 영향을 줄 수도 있다.

이에 따라, 국내 송/배전용 전기설비 이용규정에 따르면 설비용량 20MW 이상의 신재생 발전기는 FRT 능력을 갖추어야 한다. 그러나 배전용 전기설비 접속기준에서는 배전계통 선로 고장 발생 시 분산형 전원이 즉시 중지해야 한다고 명시되어 있다. 향후 가정용 태양광 발전이 대량으로 보급될 경우를 상정하면, 전력 품질의 확보를 위해 소용량 단상 인버터도 FRT 기능을 갖추어야 한다.

FRT 성능을 평가할 때, 순간전압 저하 크기 및 지속시간에 대한 운전 계속 능력뿐만 아니라 전압이 회복된 이후에 사고 발생 이전의 출력 전력으로 신속하고 안정적으로 복귀하여 운전하는 성능도 중요하다. 또한, 상위 3상 계통에서 2선 고장이 발생하면, 하위 단상 계통에서는 위상 급변이 수반되어 전압이 강하하므로 단독운전 검출방식에 따라 불필요한 검출 및 정지가 일어날 가능성이 있다.

본 논문에서는 저압 단상 계통에서 각종 계통 측 사고에 의한 순시 전압저하 및 위상 급변에 대해 운전을 계속하고, 전압 복귀 시에 안정적이고 빠르게 전류를 제어할 수 있는 FRT 제어방법을 제시하고, 이를 실험을 통해 성능을 검증하였다.

2. FRT 요구조건

FRT 요구조건으로 저압 배전선에 연계되는 단상 발전설비에 적용하는 일본 계통연계규정^[1]을 적용하였다.

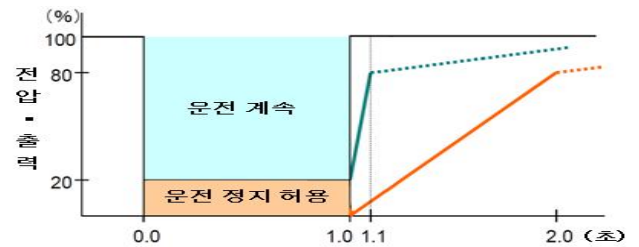


그림 1 일본 저압 배전선 연계 단상 발전설비의 FRT 조건

3상 단락사고를 상정하여 20% 이상의 1초 이내로 지속되는 전압저하에 대해서는 운전을 계속하며, 전압이 복귀하면 전압 저하 직전 출력의 80% 이상의 출력까지 0.1초 이내에 복귀해야 한다. 또한, 2상 단락사고를 상정한 위상 변화 41도를 수반하는 52% 전압저하에 대해서도 같은 성능이 필요하다.

3. FRT 제어 방법

아래 그림은 전체 전류 제어 블록도를 나타낸다. 단독운전 검출방식은 주파수 피드백과 기본과/고조파 급변 검출 시 무효전력을 주입하는 JEM 1498^[2]을 적용하여 위상 급변이 발생해도 단독운전 오검출이 일어나지 않도록 하였다.

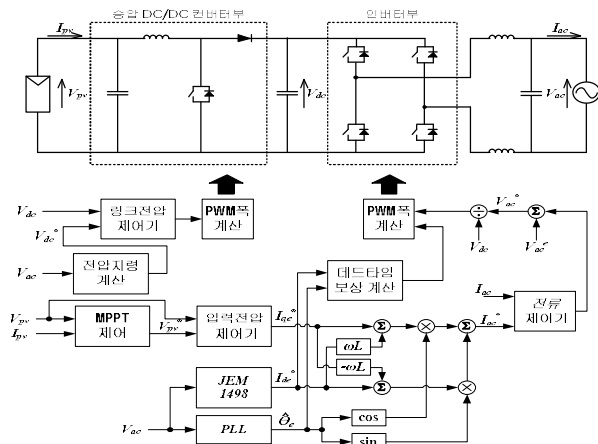


그림 2 전체 시스템 제어 블록도

인버터는 연계점 전압의 주파수 및 위상에 일치하도록 출력전류를 제어하지만 순간전압 저하가 발생하면 입력전압 제어기의 입력 측 에러가 누적되어 PI 제어기의 적분항이 포화되고, 출력전류 지령값이 상한치에 도달하여 출력전류가 최대값으로 증가하게 된다. 이 상태에서 계통 전압이 스텝으로 회복하면 출력 전력이 Sag 발생 직전 값을 넘었다가 변동하는 과도 상태를 거쳐 정상 상태를 찾게 되므로 전류의 Oscillation이 발생한다.

이를 방지하기 위해서 먼저 전압 Sag를 고속으로 판정하는 알고리즘이 필요하다. RMS 계산 방식이나 DFT 등의 방법은 계통 전압의 최소 1주기 구간을 모니터링 해야 전압 Sag를 판단할 수 있으므로 아래 그림과 같이 회전 좌표계의 피크값 전압을 사용하여 고속으로 Low Voltage 여부를 판정토록 했다.

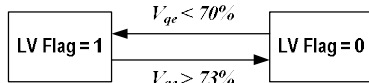


그림 3 전압 Sag 검출부

Sag를 검출하면 출력 전류 제어를 직전 출력전류 평균치로 일정 제어하고 Sag가 해제되면 다시 정상 제어모드를 수행하도록 하여 전류 Oscillation을 방지하였다.

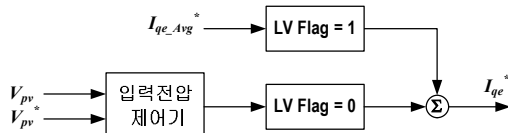


그림 4 출력전류 제어부 기준값 생성부

내부 DC Link 전압은 승압 DC/DC 컨버터에서 일정하게 유지하는 제어를 실시하고 있다. 전압 Sag가 발생하면 유효전력 출력이 저감된 상태에서 직류 전류가 지속적으로 유입되므로 DC-Link 전압이 상승한다. 만약 일정 전압 제어를 지속적으로 실시하면 계통 전압 복귀 시, 반대로 스텝 상으로 DC 전압이 하강하므로 사인 파형의 전류 제어를 정상적으로 실시할 수 없다. 이에 따라, 전압 Sag가 발생하면 내부 DC Link 전압 상승을 유지토록 하고 Sag가 복귀한 후 정상적인 일정 전압 제어를 실행토록 하였다.

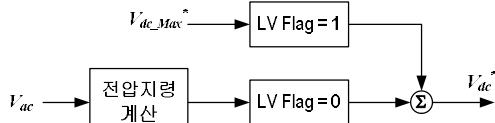


그림 5 DC Link전압 제어부 기준값 생성부

4. 시험 결과

개발한 제어 방식을 4kW급 태양광 인버터에 적용하여 계통 시뮬레이터와 태양광 시뮬레이터를 이용한 시험을 통해 FRT 성능을 시험하였다.

그림 6은 위상변화 없이 20% 크기의 전압 Sag가 1초간 발생 시 동작 파형이며 그림 7은 위상변화 41도를 수반하는 52% 크기의 전압 Sag가 1초간 발생 시의 동작 파형이다. 전압 저하 발생 시점 및 복귀 시점에 과전류나 과도 상태 변동 없이 안정적으로 운전하며, 계통 전압이 복귀 시 0.1초 이내에 사고 발생 직전 출력의 80% 이상의 유효전력 출력으로 빠르게 회복하는 것을 확인할 수 있다.

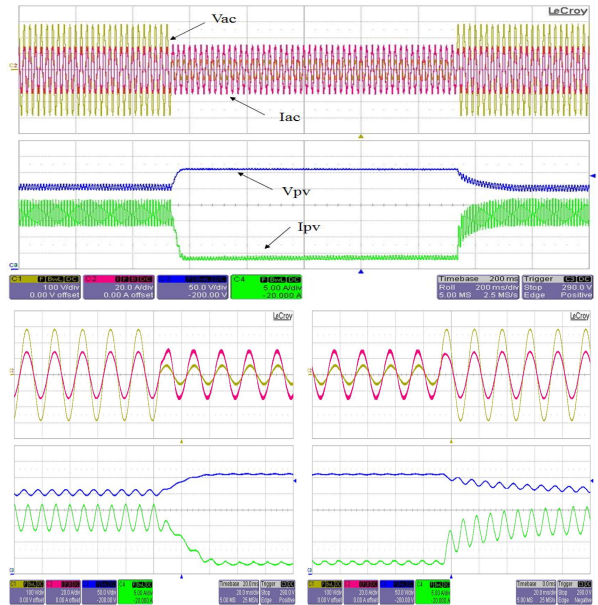


그림 6 20% Sag 발생 시의 FRT 파형

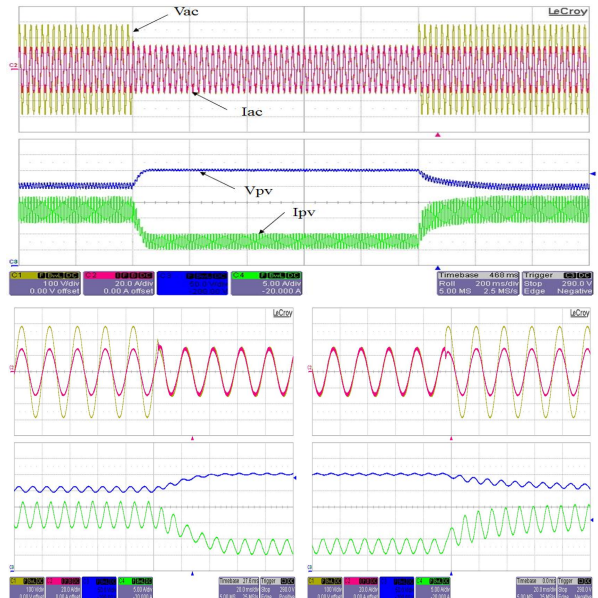


그림 7 위상변화 41도 수반하는 52% Sag 발생 시의 FRT 파형

5. 결론

본 논문에서는 계통에 사고가 발생하여 순간 전압저하가 발생해도 배전 계통에 연계된 단상 계통 연계형 인버터가 운전을 계속할 수 있는 FRT 제어 방법을 제안하고 그 성능을 4kW급 인버터 실험을 통해 일본의 FRT 규정을 만족하는 것을 확인하여 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Japan Electro Technical Standards and Codes Committee, "Grid-interconnection Code", JEAC 9701-2012
- [2] Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "A Frequency Feedback Method with Step Reactive Power Injection", JEM 1498, 2012.