

Fault Ride Through 운전 시 직류 링크 전압 상승 방지를 위한 보상기법

이한빛, 최상지, 조영훈
 건국대학교 전력전자연구소

Compensation Technique to Prevent DC Link Voltage Rise During Fault Ride Through Operation

Hanvit Lee, Sangji Choi, Younghoon Cho
 Power Electronics Lab. Konkuk Univ.

ABSTRACT

최근 분산전원시스템에서는 계통의 전압 이상 시에도 일정시간 동안 계통 연계운전을 유지해야할 뿐만 아니라 계통 전압의 빠른 회복을 위해 무효전력을 공급하는 Fault Ride Through(FRT) 규정이 요구되고 있다. 그러나 시스템 구성에 따라 무효전력 공급시 직류링크의 전압이 상승하여 과전압 폴트가 발생하여 FRT 규정을 준수할 수 없는 문제가 있다. 이에 본 논문에서는 FRT 규정을 준수함과 동시에 직류링크 전압 상승을 방지할 수 있는 보상기법을 제안하였다.

1. 서론

분산전원시스템에서 안정성과 품질을 유지하기 위해 제어 능력과 보호 기능을 가져야한다. 과거에는 이러한 요구사항들이 기존 시스템에서 해결 되었지만, 최근에는 총 발전량에 비해 대체 에너지 원의 비중이 매우 커졌다. 하지만 대체 에너지 원의 가변적인 발전 특성상 연계 계통에 큰 영향력을 가지며 심할 경우엔 계통 안정도에 지장을 줄 수 있다. 따라서 시스템 관리자는 계통의 안정성을 보장하기 위해 발전소가 수행해야하는 특정 임계값 과 제어 특성을 갖춘 계통 연계 규정 (Grid Code)를 제정하였다. 계통 연계 규정 에서도 Fault Ride Through(FRT) or Low Voltage Ride Through(LVRT)라고도 불리는 규정은 계통전압 감소율과 사고 시간에 따라 규정되며, 연계계통에서 사고가 발생하면 발전 시스템이 무효전력을 공급하여 계통전압 복구에 기여한다.^[1]

계통 사고 시, FRT 규정을 지키기 위하여 무효전력을 계통에 공급하게 되면 상대적으로 유효전력 제어에 제약이 발생한다. 이로 인하여 입, 출력 간 불평형이 생겨 계통 측 에 유효전력이 발생하여 직류링크 전압이 상승하는 결과가 생긴다.^[2] 단 방향 컨버터를 사용할 때 상승한 직류 링크 전압을 보상한다.

IEEE 1547a와 독일 계통 연계 규정의 FRT 규정 조건은 표 1과 같다.

2. 계통 연계형 FRT 규정

2.1 독일 계통 연계형 FRT 규정

아래 그림 1은 독일 계통 연계 규정의 FRT규정 조건이다. 전압 감소율은(V/V_{rated})은 3상의 선간 전압 중 가장 큰 값을 기준으로 정한다. 사고 발생 기준을 0초로 정했을 경우, 150[ms] 동안은 어떠한 경우에도 계통을 연결해야 한다. A영역에서는 계통과 항상 연결이 되어있어야 한다. B영역에서는 허가를 받은 일부 시스템에 한해 분리가 가능하며, 2초 이내에

재 연결하여 유효전력을 초당 시스템 정격용량의 0.1[p.u] 이상의 상승률로 공급해야 한다. C영역에서는 모든 시스템이 분리가 가능하며 2초 이후 재 연결하여 초당 시스템 정격 용량의 0.1[p.u] 이상의 상승률로 공급해야 한다. D영역에서는 발전 시스템이 계통으로부터 분리가 가능하며 사고 복구 이후에 재 연결하였을 경우 시스템 정격용량의 0.2[p.u] 이상의 상승률로 공급해야 한다.

표 1 IEEE 1547a , 독일 BDEW FRT규정

전압 범위	IEEE 1547a Clearing time(sec)	독일(BDEW) Clearing time(sec)
$V < 45$	0.16	0.15
$45 \leq V < 60$	11	0.2 ~ 3.0
$60 \leq V < 88$	21	
$110 \leq V < 120$	13	
$V > 120$	0.16	

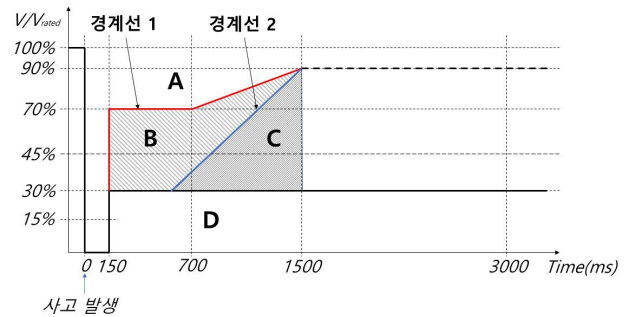


그림 1 독일 계통 연계조건 FRT 요구조건

2.2 무효 전류의 공급

사고 발생시, 발전 시스템의 요구되는 무효전류 공급 조건은 그림 2와 같다.

무효 전류 공급 규정은 계통의 전압을 안정화하기 위해서 발전 시스템이 무효 전류를 공급하고 전압 상승이나 감소로 인한 유도성 부하(inductive load)에 계통이 공급하지 못하는 무효 전류를 발전 시스템이 공급해 줌으로써 사고 시 계통 전압의 안정화가 빠르게 이루어 질 수 있게 한다.

그림에서 V 는 정격 전압, I_{rated} 는 정격 전류, I_d 와 V_d 는 사고 전, 후의 무효 전류와 전압 차이이다. 계통 전압이 0.9 ~ 1.1 사이일 경우는 정상 작동 구간이고 무효 전류의 요구가 없다. 하

지만 0.9~1.1 사이 범위를 벗어나는 전압 변동에 대해서는 전압 변화를 대비 계통전압이 0.9 이하일 경우 2배의 지상전류, 1.1 이상일 경우 2배의 진상전류를 공급한다. 제어의 반응 시간은 20ms[1/50Hz] 이하여야 하고, 사고 후 정상 동작 범위에서도 500ms동안은 그림의 직선에 따라 무효전류를 공급한다.

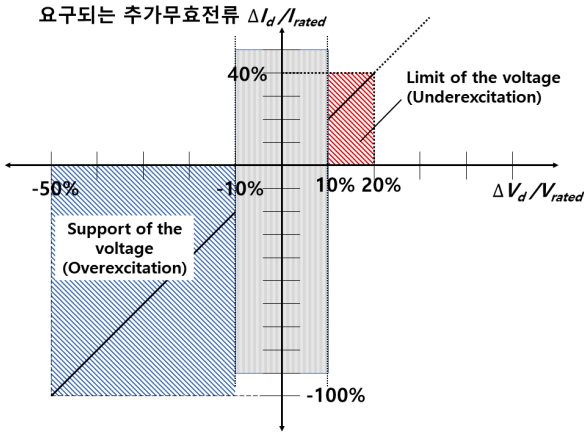


그림 2 FRT 상황의 무효 전류 공급 조건

3. 실험 결과

3.1 직류 링크 전압 상승

FRT 운전 시 직류 링크 전압 상승을 확인하기 위하여 우선적으로 운전의 기본 성능 실험을 실시하였다. 이때 선간 단락과 계통 불평형 같은 상황은 배제하고 정상 동작하는 FRT 실험을 진행하였다. 그림 4는 계통 전압이 감소한 상황을 가정하여 전압이 전류보다 90° 앞서는 30kvar의 지상 무효 전력을 주입한 실험 파형을 나타낸다.

본 논문은 아래 그림 3과 같이 분산 전원 발전에서 사용하는 인버터 LCL 출력 필터 회로라는 조건에서 실험을 진행하였다. 본래 계통 전압 이상 FRT 운전에서는 무효 전력만이 주입된다. 하지만 인버터 출력 필터에서 인덕터 전류를 제어하여 순수한 무효 전력만을 공급한다 하여도 인덕터에 의한 지상 전류로 인해 실제로는 약간의 유효 전력이 발생하게 된다. 때문에 무효 전력을 1kvar에서 2kvar로 증가시켜 주입 시키면, 그림 5와 같이 생성된 유효 전력에 의한 직류 링크 전압이 상승함을 증명하였다.

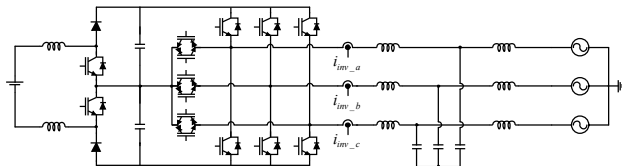


그림 3 단방향 컨버터를 이용한 회로도

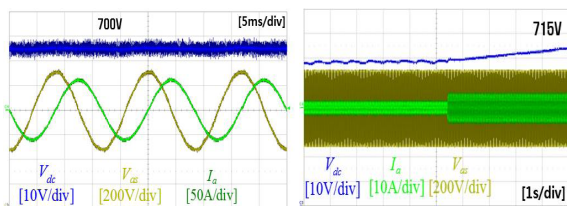


그림 4 (좌) FRT 시뮬레이션 지상 무효 전력 정상 운전, (우) 지상 무효 전력 2kvar로 운전

3.2 전압 상승 보상기법

무효 전력을 주입할 때, 직류 링크 전압이 상승함을 확인했다. 그림 3과 같은 단방향 컨버터가 연결되어 있는 시스템에서는 인덕터에 의한 지상 전류가 배터리 방향으로 흐를 수 없다. 직류 전압 상승으로 인하여 정격 이상의 과전압이 걸리게 될 때의 사고를 방지하기 위한 그림 6과 같은 보상기를 구성하였다.

컨버터의 전력 지령과 컨버터가 낼 수 있는 전력의 차이를 조절하여 직류 링크 전압 상승을 방지한다. 보상기가 반주기마다 동작하면서, 컨버터 측의 부족한 전력을 보완하여 직류 링크 전압 상승을 방지한다. 그림 7과 같이 무효 전력 2kvar 주입 시, 지령 유효 전력 100w 미만으로 보상하여 직류 링크 전압 유지됨을 증명하였다.

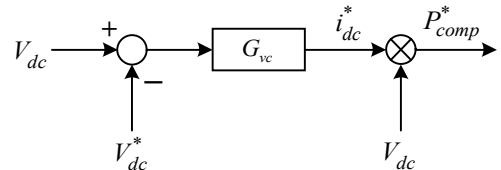


그림 6 PI 제어기 보상 블록도

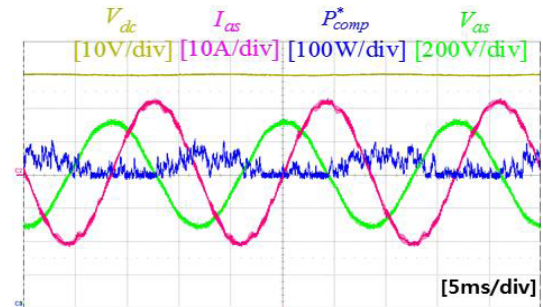


그림 7 PI 제어기 보상 결과

4. 결론

본 논문은 계통 사고발생시 계통 연계를 유지하는 FRT 운전에서 발생하는 직류 링크 전압 상승을 보상하는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 무효 전력에 의한 직류 링크 전압 상승을 확인하였다. 상승하는 직류 링크 전압을 방지하기 위한 보상기법을 사용하였다. 보상기법을 통하여 직류 링크 전압 유지됨을 확인 하였다.

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 산업연계 교육활성화 선도대학(PRIME) 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임

이 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 공학 교육혁신지원사업 『공학교육혁신센터』 사업으로 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] X. j. Yao, L. z. Liang, H. Chen and Z. x. Xing, "Control Strategy Study of DFIG with LVRT," 2009 International Conference on Energy and Environment Technology, Guilin, Guangxi, pp. 572-575, 2009.
- [2] G. Ramtharan, A. Arulampalam, J. B. Ekanayake, F. M. Hughes, N. Jenkins, "Fault ride through of fully rated converter wind AC and DC transmission systems", IET Renew. Power Gener., Vol. 3, No. 4, pp. 426-438, 2009.