

ESS를 이용한 태양광전원 연계시스템의 전압 안정화 방안에 관한 연구

전진택*, 한병길*, 황승욱*, 조성덕*, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기전자과

e-mail:jinfind@korea.kr

A Study on Voltage Stabilization in Distribution Systems Interconnected with PV System Using Energy Storage System

Jin-Taek Jeon*, Byeong Gill Han*, Seung-Wook Hwang*, Sung-Duck Cho*, Dae-Seok Rho*

*Korea University of Technology and Education

요 약

최근, 정부에서는 신재생에너지 기술개발 및 보급계획에 따라 2030년까지 20%의 보급률을 목표로 신재생에너지원의 보급 계획을 추진하고 있다. 또한, 배전선로에 태양광전원 접속 허용기준을 확대함에 따라, 대용량의 태양광전원이 배전 시스템에 활발하게 연계되고 있다. 하지만, 다수의 태양광전원이 배전시스템에 연계되는 경우, 역조류 현상에 의하여 수용가 전압이 규정전압범위(220±13V)를 벗어나게 될 문제점이 발생할 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는, 배전시스템 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 배전용 변전소, 수용가 부하, 태양광전원, ESS 등으로 구성된 복합 배전계를 모델링하고, 이를 바탕으로 태양광전원의 역조류에 의한 과전압현상을 모의한다. 또한, 이러한 문제점을 해결하기 위해, 배전용 ESS를 이용해 수용가전압을 규정전압범위 이내로 유지시킬 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

최근 재생에너지 3020 이행계획 수립 이후 2.4GW시대가 열려 앞으로 풍력 발전 뿐만 아니라 대용량의 태양광전원이 설치 운용될 예정이다. 하지만 기후의 영향과 부하의 사용량에 따라 태양광전원의 출력 변동은 역조류를 발생시켜 수용가 전압의 규정 범위를 벗어날 수 있어 계통을 안정적으로 연계 보급할 수 있는 기술 개발이 시급한 실정이다. 이러한 태양광전원이 배전시스템에 연계되는 경우, 역조류 현상에 의하여 수용가 전압이 규정전압범위(220±13V)를 벗어나게 될 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 선로절체에 의한 태양광전원의 수용성 향상을 위하여, 배전시스템 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 배전계를 모델링하고, 태양광전원이 연계되었을 때, 발생하는 과전압문제를 모의하였다. 또한, 이를 해결하기 위해, ESS를 이용해 수용가 전압을 규정전압범위 이내로 유지시키는 방안을 제시하였다.

2. 태양광전원 연계시 수용가 전압 문제점 분석

기존 배전시스템의 수용가 전압은 규정전압범위(220±13V)를 벗어나지 않기 위해, 배전선로의 주상변압기 탭을 피크 부하

에 맞춰 설정하여 운영한다. 하지만 부하의 사용량은 시간에 따라 달라 경우하시 태양광전원의 출력량이 많은 경우 규정 전압범위를 벗어날 가능성이 있어, 배전시스템의 전압 안정도가 저하 될 수 있다. 그림 1은 태양광전원 연계시 부하량에 따른 주상변압기 2차측 수용가에 나타날 수 있는 문제점을 나타낸 것이다. 여기서, 그림 1의 ①은 피크부하일 때 나타나는 전압특성이며, 그림 1의 ②는 경우하일 때 나타나는 전압특성이다. 이 그림과 같이 피크부하시 규정전압범위(220±13V)를 유지하지만, 경우하시 5, 6 구간의 과전압 현상이 발생함을 알 수 있다. 따라서 이러한 과전압 현상의 해결하기 위한 다양한 연구가 필요함을 알 수 있다.

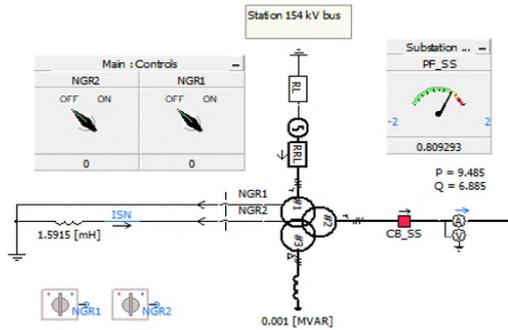


[그림 1] 태양광전원이 연계된 수용가의 과전압현상

3. PSCAD/EMTDC를 이용한 배전계통의 모델링

3.1 배전용변전소 모델링

PSCAD/EMTDC를 이용하여 배전용변전소의 모델링을 수행하면, 그림 2과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 배전용변전소의 주변압기는 3권선 $Y_g - Y_g - \Delta$ 결선방식이며, 3차 권선은 제 3고조파를 제거하기 위하여 델타 결선방식을 채용하고 있다. 또한, 주변압기 2차측은 배전계통의 지락전류를 제한하기 위하여 0.6[Ω]의 NGR(neutral ground resistor)을 설치하는 것으로 가정한다.



[그림 2] 배전용변전소 모델링

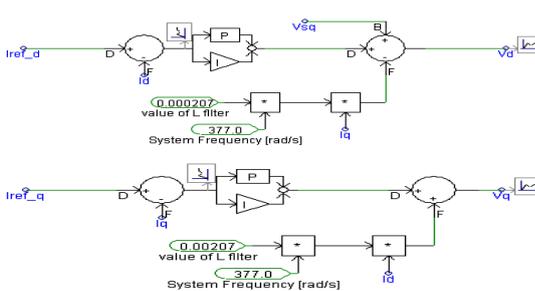
3.2 태양광전원 모델링

태양광전원의 계통연계용 인버터에 대하여 목표로 하는 유효전력과 무효전력을 제어하기 위해, PI제어기를 이용한 세부적인 전류제어 알고리즘은 식 (1)과 식 (2)와 같고, 이 제어기를 모델링하면 그림 3과 같다. 여기서, 인버터의 전류 제어부는 유효전력과 디커플링 회로이기 때문에 무효전력을 서로 독립적으로 제어할 수 있다.

$$V_d = (I_{ref-d} - I_d) \cdot (k_p + \frac{k_i}{s}) - I_q \cdot \omega L + V_{sq} \quad (1)$$

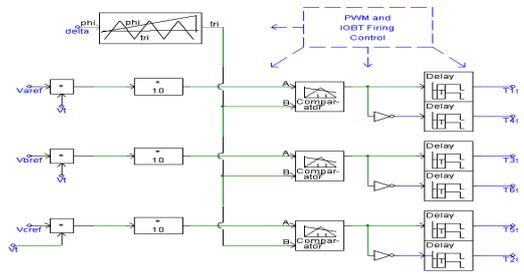
$$V_q = (I_{ref-q} - I_q) \cdot (k_p + \frac{k_i}{s}) - I_d \cdot \omega L \quad (2)$$

여기서, V_d, V_q : 인버터 출력을 위한 d-q축 전압, I_{ref-dq} : 인버터 출력의 기준전류, I_d, I_q : d-q동기좌표계에 의한 계통 전류(직류), V_{sq} : 계통의 순시전압



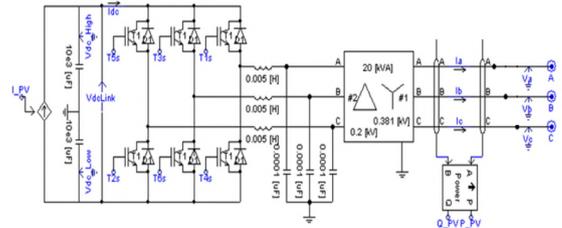
[그림 3] 태양광전원 시스템의 전류제어 모델링

상기의 식 (1), (2)에서 구한 V_d 와 V_q 는 d-q 좌표변환을 통해 3상의 전압으로 변환되며, IGBT를 구동시키기 위한 6개의 신호로 사용되는 PWM을 모델링하면, 그림 4과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 4] 태양광전원 시스템의 PWM 제어 모델링

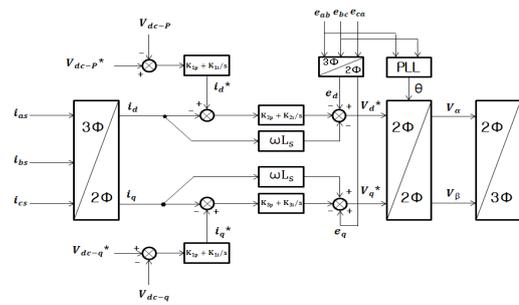
한편, 상기의 제어를 수행하는 계통연계용 인버터를 모델링하면 그림 5와 같고, PWM으로부터 나온 6개의 스위칭 신호에 의하여 태양광전원에서 생성된 DC 출력에 120°의 위상차를 갖는 3상의 AC출력으로 변환시킨다.



[그림 5] 계통연계용 인버터 모델링

3.3 ESS 모델링

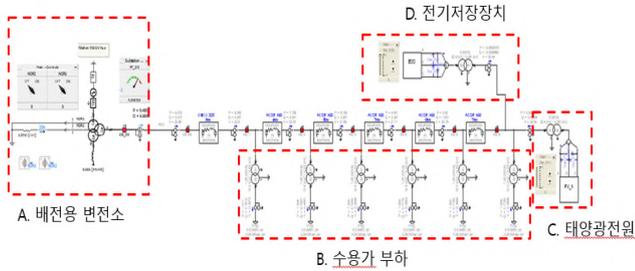
정전류원으로 충·방전을 수행할 수 있는 전기저장장치를 모델링하면 그림 6과 같다. 여기서, 전류 제어부는 디커플링 회로이기 때문에 유효전력과 무효전력을 서로 독립적으로 제어할 수 있다. 그리고 양방향인버터의 출력전압은 역 좌표변환 과정에서 위상고정회로(Phase Locked Loop: PLL) 방식을 적용하여 계통전압과 위상을 동기화시킨다.



[그림 6] 계통연계용 인버터 모델링

3.4 전체 배전계통 모델링

상기의 내용을 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 배전용 변전소, 수용가 부하, 태양광전원, ESS 등으로 구성된 전체 배전계통을 나타내면 그림 7와 같다. 여기서, A 부분은 배전용 변전소, B는 수용가 부하, C는 태양광전원, D는 ESS를 나타낸다.



[그림 7] 태양광전원 시스템의 전류제어 모델링

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션조건

먼저, 배전계통의 선로 조건은 표 1과 같이 선정하였으며, 여기서, 배전선로 6구간으로 나누고 1번 구간은 ACSR-160, 공장 4km, 2~4번 구간은 ACSR-160, 공장은 5km, 5, 6구간은 ACSR-95, 공장은 각각 5km, 6km로 선정한다. 또한 주상 변압기 1차측 탭선정은 1구간탭은 13200탭, 2~6구간은 12600탭으로 적용한다. 수용가 부하는 6구간을 균등하게 설정하여 피크부하(10MVA)와 경부하(4MVA)로 고려하고, 저압측의 전압강하 분담률은 주상변압기 2차측 직하 전압강하분(1.5%)와 말단 전압강하분(4%)으로 선정한다.

[표 1] 배전계통의 선로 조건

구간	선종	임피던스 [Ω/km]	공장[km]
1	ACSR-160	0.18+j0.39	4
2	ACSR-160	0.18+j0.39	5
3	ACSR-160	0.18+j0.39	5
4	ACSR-160	0.18+j0.39	5
5	ACSR-95	0.4+j0.48	5
6	ACSR-95	0.4+j0.48	6

4.2 ESS에 의한 전압안정화 특성 분석

모델링 및 시뮬레이션 조건에 따라, 태양광전원이 연계되기 전, 부하율에 따른 수용가전압 특성을 나타내면 표 2와 같다. 여기서, 모든 구간에 대하여, 직하 및 말단 전압이 규정치 이내로 유지됨을 확인할 수 있다.

[표 2] 배전계통의 선로 조건

		1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
피크 부하	직하	224.1	228.2	222.8	218.6	213.6	210.5
	말단	220.8	224.9	219.5	215.3	210.3	207.2
경부하	직하	224.3	232.6	230.5	228.9	227	225.8
	말단	218.8	227.1	225	223.4	221.5	220.3

상기의 계통에 태양광전원이 5MW만큼 연계될 경우, 부하율에 따른 수용가전압 특성을 나타내면 표 2와 같다. 여기서, 5MW의 태양광전원 연계에 따라, 피크부하에서는 규정전압이다. 하지만, 경부하에서는 직하 2~6 구간, 말단에서는 5~6 구간이 규정치를 초과하여, 과전압의 문제가 발생함을 확인하였다.

[표 3] 배전계통의 선로 조건

		1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
피크 부하	직하	222.4	228.7	225.6	223.7	223.9	226.9
	말단	216.9	223.2	220.1	218.2	218.4	221.4
경부하	직하	225.9	236.3	236.4	236.9	239.8	244.2
	말단	220.4	230.8	230.9	231.4	234.3	238.7

상기의 과전압 문제를 해결하기 위하여, 태양광전원이 5MW만큼 연계될 경우 4MW의 ESS를 연계하여, 충전하면 표 4와 같다. 즉, ESS가 태양광발전량의 출력을 충전함으로써, 태양광전원이 연계되기 전과 규정전압범위 안으로 출력됨을 알 수 있다, 따라서, ESS의 충전을 통해, 태양광전원 연계로 인한 과전압 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다.

[표 4] 배전계통의 선로 조건

		1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
피크 부하	직하	221.1	225.6	220.7	217	213.1	211.3
	말단	215.6	220.1	215.2	211.5	209.6	207.8
경부하	직하	224.6	233.3	231.6	230.5	229.6	229.6
	말단	219.1	227.8	226.1	225	224.1	224.1

5. 결 론

본 논문에서는 배전계통에 연계되는 태양광전원의 수용성 향상을 위하여, PSCAD/EMTDC를 이용하여 배전계통을 모델링하고, 태양광전원이 연계되었을 때, 발생하는 과전압문제를 해결하기 위하여, ESS를 이용해, 수용가전압을 규정전압 범위 이내로 유지시키는 방안을 제안하였다. 즉, 피크부하 시

를 기준으로 배전계통에 주상변압기 탭을 설정하였을 경우 태양광전원이 배전계통에 연계되면, 태양광전원에서 공급하는 역조류가 전압상승을 초래하여, 규정전압범위가 벗어날 가능성을 확인하였다. 이를 해결하기 위해, ESS를 통해 태양광 발전량의 출력을 충전함으로써, 태양광전원이 연계되기 전과 규정전압 범위 안으로 출력됨을 알 수 있다, 따라서, ESS의 충전을 통해, 태양광전원 연계로 인한 과전압 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] V. Vai, E. Gladkikh, M. C. Alvarez-Herault, B. Raison and L. Bun, "Study of low-voltage distribution system with integration of PV-battery energy storage for urban area in developing country," 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Milan, 2017, pp. 1-6.
- [2] O. M. Akeyo, V. Rallabandi and D. M. Ionel, "Multi-MW solar PV pumping system with capacity modulation and battery voltage support," 2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), San Diego, CA, 2017, pp. 423-428.
- [3] J. Wang, S. Hashemi, S. You and C. Trøholt, "Active and reactive power support of MV distribution systems using battery energy storage," 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, 2017, pp. 382-387.
- [4] M. Zeraati, M. E. H. Golshan and J. M. Guerrero, "A Consensus-Based Cooperative Control of PEV Battery and PV Active Power Curtailment for Voltage Regulation in Distribution Networks," in IEEE Transactions on Smart Grid.