Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 2 pp. 1355-1363, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.2.1355
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

PSCAD/EMTDC를 이용한 배전계통의 선로전압조정장치와 전지전력저장장치의 모델링에 관한 연구

김병기[1], 김기영[1], 이주광[1], 최성식[1], 노대석[1*]
[1]한국기술교육대 전기전자통신공학부

A Study on the Modeling of Step Voltage Regulator and Energy Storage System in Distribution System Using the PSCAD/EMTDC

Byungki Kim[1], Giyoung Kim[1], Jukwang Lee[1], Sungsik Choi[1] and Daeseok Rho[1*]
[1]**Electrical Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education**

요 약 태양광전원이 연계된 배전계통에서 발생되는 과전압문제를 해소하기 위하여, 계통에서 발생하는 전압변동에 대응하여 전압을 일정하게 유지시킬 수 있는 선로 전압 조정장치(Step Voltage Regulator)의 도입이 제안되고 있다. 일반적으로 SVR은 전압조정 방법에 의하여 Tap위치를 결정한 후, 일정시간이 지나면 Tap이 동작하도록 운용된다. 하지만 지연시간(30sec) 이후에 Tap을 동작시키는 SVR의 특성에 의하여, 이 시간동안 수용가전압은 규정치를 벗어날 가능성을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 배전계통의 상용소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 LDC방법에 의한 SVR의 전압조정 모델링과, 양방향으로 유무효전력을 제어할 수 있는 전지전력저장장치(Battery Energy Storage System)의 모델링을 제안하였다. 또한 SVR의 문제점을 보완하기 위하여, BESS와의 협조방안에 대한 모델링을 제시하였다. 상기에서 제안한 모델링을 바탕으로 수용가의 전압특성을 분석한 결과, SVR과 BESS에 의하여 안정적으로 전압이 유지됨을 확인하여, 본 연구에서 제시한 모델링의 유효성을 입증하였다.

Abstract In order to maintain customer voltage within allowable limit(220±13V), tap operation of SVR(step voltage regulator) installed in primary feeder could be carried out according to the scheduled delay time(30 sec) of SVR. However, the compensation of BESS(battery energy storage system) is being required because the customer voltages during the delay time of SVR have a difficultly to maintain within allowable limit when PV system is interconnected with primary feeder. Therefore, this paper presents modeling of SVR to regulate voltage with the LDC(line drop compensation) method and modeling of BESS to control active and reactive power bi-directionally. And also, this paper proposes the coordination control modeling between BESS and SVR in order to overcome voltage problems in distribution system. From the simulation results based on the modeling with the PSCAD/EMTDC, it is confirmed that proposed modeling is practical tool for voltage regulation analysis in distribution system.

Key Words : Battery Energy Storage System, Step Voltage Regulator, Line Drop Compensation, Allowable Limit(220±13V), Coordination Control Modeling, Distribution System

1. 서론

최근 정부에서는 차세대 성장 동력 산업의 하나로서 녹색성장 정책을 추진하여, 2030년까지 신재생에너지전원의 비중을 전체 에너지전원의 11% 정도로 확대하는 보급 사업을 적극적으로 수행하고 있다[1].

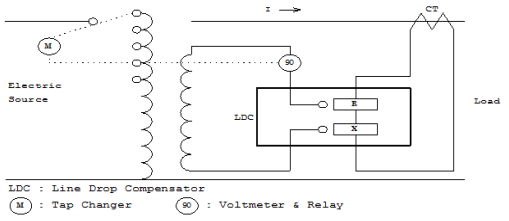
*Corresponding Author : Daeseok Rho(Koreatech)
Tel: +82-41-560-1167 email: dsrho@koreatech.ac.kr
Received November 20, 2014 Revised January 29, 2015 Accepted February 12, 2015

이러한 신재생에너지 전원의 활성화 방안에 따라 지자체와 신재생에너지 발전사업자를 중심으로 대용량 분산전원을 배전계통에 활발하게 연계하고 있는 실정이다. 하지만, 풍력, 태양광, 연료전지와 같은 분산전원이 배전계통에 도입되어 운용되는 경우, 급격한 출력변동에 의하여 수용가에서는 전압 규정치를 벗어날 가능성 가지고 있다[2-5]. 이를 해결하기 위하여 분산전원이 연계된 배전계통에 선로전압조정장치(Step Voltage Regulator)를 설치하여 전압변동에 대응하기 위한 방안으로 제안되고 있다[6]. 하지만 미리 설정된 지연시간(30sec) 이후에 Tap이 동작하는 SVR의 특성에 의하여, 이 시간동안 수용가전압은 규정치를 벗어날 수 있는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 배전계통의 대표적인 상용 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 LDC방법에 의한 SVR의 전압조정 모델링과, 양방향으로 유무효전력을 제어할 수 있는 전지전력저장장치(Battery Energy Storage System)의 모델링을 제안하였다. 또한 SVR의 문제점을 보완하기 위하여, BESS와의 협조방안에 대한 모델링을 제시하였다. 구체적으로, 본 논문에서는 부하변동 크기에 따른 LDC의 최적전압조정요소(부하중심점전압과 등가임피던스)에 의하여 SVR의 최적 송출전압을 구하는 SVR의 모델링 방안을 제안하였다[7-9]. 또한 목표로 하는 BESS의 유·무효분 출력 값을 얻기 위하여, BESS의 출력을 결정하는 dq축의 기준전류와 전류제어 알고리즘을 이용하여 BESS의 유·무효분의 충·방전이 가능한 BESS의 모델링 방안을 제시하였다. 그리고 SVR의 동작지연시간동안 수용가 전압이 규정치(207V)미만으로 되면 BESS를 방전시키고, 규정치(233V)를 초과하면 BESS를 충전시켜, 수용가전압을 안정적으로 유지되도록 하는 모델링 방안을 제안하였다. 이를 바탕으로 태양광전원이 연계된 배전계통에서 SVR과 BESS 도입에 따른 수용가전압 특성을 분석하여, 본 논문에서 제안한 SVR과 BESS의 모델링의 유용성을 확인하였다.

2. 선로전압조정장치와 전지전력저장장치의 전압조정방안

2.1 선로전압조정장치의 전압조정방안

SVR의 전압조정은 부하전류에 응동하여 조정하는 LDC(line drop compensation)방식과 부하량에 상관없이 고정된 송출전압 값을 갖는 송출전압 고정방식, 그리고 시간에 의하여 정해진 송출전압을 조정하는 프로그램방식으로 나누어진다. 상기의 방식 중 가장 많이 사용되고 있는 LDC방식은 Fig. 1과 같이, 산출된 LDC 정정치(부하중심점 전압, 등가임피던스, 밴드폭 값, 시간지연 값)에 의하여 선로의 부하변동에 따라 전압을 조정하는 방식이다[10-11].



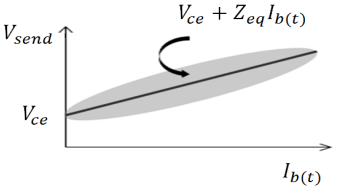
[Fig. 1] LDC method of SVR

한편, SVR의 LDC 운용방식은 식 (1)과 같이 수용가의 전압을 적정하게 유지하기 위한 최적송출전압을 임의지점의 부하 중심점 전압 (V_{ce})에 대하여 대상 배전계통의 등가 임피던스(Z_{eq})와 SVR의 통과 전류의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$V_{send}(t) = V_{ce} + Z_{eq} \times I_b(t) \quad (1)$$

여기서, $V_{send}(t)$: 최적 송출전압 V_{ce} : 부하중심점 전압 Z_{eq} : 등가 임피던스 $I_b(t)$: SVR을 통과하는 총 부하전류이다.

LDC의 정정치는 한번 정해지면 동일한 값으로 장기간 운용되기 때문에, SVR의 최적 송출전압과 통과전류와의 상관관계는 Fig. 2와 같이 비선형적인 분포특성을 가지게 된다. 따라서 정정치(Z_{eq}, V_{ce})를 산출하는 문제는 식 (2)와 같이 전체시간대에 대한 편차를 최소화 하는 최소자승법으로 정식화할 수 있다.



[Fig. 2] Dispersion characteristics of the optimal sending voltage

$$Min\ q = \sum_{t=1}^{T} [V_{send}(t) - (V_{ce} + Z_{eq} \cdot I_b(t))]^2 \quad (2)$$

여기서, T : 전체 시간대이다.

LDC의 정정치(Z_{eq}, V_{ce})를 구하기 위하여 식 (2)에 대하여 편미분($\partial q/\partial Z_{eq} + \partial q/\partial V_{ce} = 0$)을 수행하면 식 (3), (4)와 같다.

$$Z_{eq} = \frac{\sum_{t=1}^{n} V_{send(t)} \times \sum_{t=1}^{n} I_{b(t)} - n\sum_{t=1}^{n}(V_{send(t)} \times I_{b(t)})}{(\sum_{t=1}^{n} I_{b(t)})^2 - n\sum_{t=1}^{n}(I_{b(t)})^2} \quad (3)$$

$$V_{ce} = \frac{\sum_{t=1}^{n} V_{send(t)} - Z\sum_{t=1}^{n} I_{b(t)}}{n} \quad (4)$$

한편, SVR의 Tap은 LDC 정정치에 의하여 계산된 송출전압과 SVR의 기존 탭 전압을 비교하여 식 (5)와 같이 보상율을 구할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{V_{send} - V_n}{V_n + (V_n - V_{SVR}) \times T_{int}} \times 100[\%] \quad (5)$$

여기서, ϵ:보상율, V_n:기준 전압(13,200V), V_{send} : SVR LDC 방법에 의한 최적 송출 전압, V_{svr} : SVR 2차측 전압, T_{int} : 탭 비율은 1.25%이다.

이 식과 불감대폭을 고려하여 탭 위치를 구하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 각 시간대의 $T_{pi}(t)$는 정수부, $T_{pd}(t)$는 소수부를 나타낸다.

$$T_p(t) = T_{pi}(t) + T_{pd}(t) \quad (6)$$

여기서, $T_p(t)$: 보정 되어야 할 SVR 탭 수 $T_{pi}(t)$: Tap 변환 계수(정수부), $T_{pd}(t)$: 불감대폭을 고려한 Tap 변환 보정 계수(소수부)이다.

식 (7)과 같이 소수부의 절대치와 불감대폭(0.5)을 비교하여 전자가 크면 $T_{pi}(t)$에 1 또는 -1이 더해지고, 불감대폭보다 작으면 무시하게 된다.

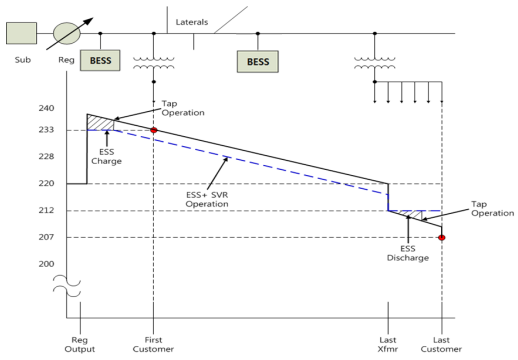
$$T_{pd}(t) = \left\{ \begin{array}{ll} T_{pd} = -1 & \text{if } DEC(\epsilon_{(t)}) \geq bd \\ T_{pd} = 0 & \text{if } bd < DEC(\epsilon_{(t)}) > -db \\ T_{pd} = 1 & \text{if } DEC(\epsilon_{(t)}) \leq -bd \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$T_{pi} = INT(\epsilon_{(t)})$$

여기서, bd: 불감대폭, DEC: 보상율의 소수부분, INT: 보상율의 정수부분, ϵ: 보상율이다.

2.2 전지전력저장장치의 전압조정방안

배전계통에 설치된 SVR은 일반적으로 Tap변환신호(u)가 발생하면 일정시간(30sec) 이후에 Tap동작(u')이 이루어진다. 하지만 SVR의 동작 지연시간 동안에는 전압조정이 이루어지지 않아 수용가전압은 규정치를 벗어날 가능성을 가지고 있어, 이를 해결하기 위하여 Fig. 3과 같이 BESS의 도입운용을 제안하였다. 즉, SVR의 2차측에 설치된 BESS는 SVR의 동작 지연시간(30sec)동안 운용되는데, 이 시간동안 수용가전압이 규정치(207V)미만으로 되면 방전하고, 규정치(233V)를 초과하면 충전하여, 수용가전압을 규정치 이내로 유지시키게 된다.

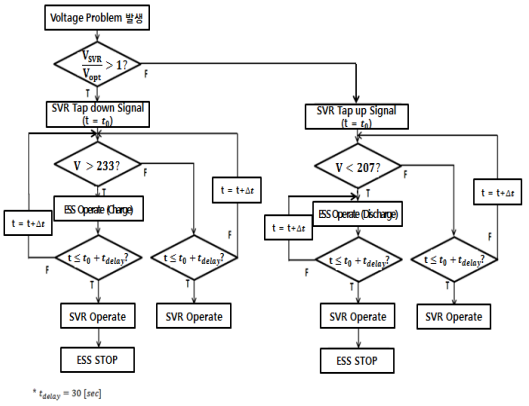


[Fig. 3] Conceptual diagram of voltage control by using SVR and BESS

2.3 선로전압조정장치와 전지전력저장장치의 협조 방안

Fig. 4는 SVR과 BESS의 전압조정에 대한 절차를 나타낸 것이다. 먼저 일정시간대의 부하에 대하여, LDC 정정치에 의하여 계산된 송출전압과 SVR의 기존 탭 전압을 비교하여 보상율을 구하고, 이를 이용하여 SVR의 동작여부(Tap Up, Tap Down)를 결정한다. 그리고 SVR의 동작지연시간동안 전체 수용가에 대한 규정전압 유지 여

부를 판단하여, BESS의 충·방전 동작을 결정한다. 여기서, SVR의 동작 지연시간동안 수용가전압이 한 곳이라도 규정치를 벗어나지 않는다면, BESS는 투입되지 않고 SVR만 동작하여 전압조정을 수행한다. 또한 상기의 전압조정 절차는 모든 대상 시간대에 대하여 적용된다.



[Fig. 4] Voltage control of SVR and BESS

한편, 상기에서 제안한 SVR과 BESS의 운용은 식 (8)과 같이 논리식으로 나타낼 수 있는데, 이 식에서 BESS의 충전상태는 1, 방전상태는 −1, 그리고 동작을 하지 않는 상태는 0으로 가정하였다. 또한, 식 (8)에서 τ는 SVR의 tap 동작 지연시간 안에서 전압이 규정치를 초과하는 경우와, 미만인 경우를 판단하는 요소로 가정하였다. 그리고 τ에 곱해지는 3입력 부정합(negative OR)은 SVR의 Tap 변환결정신호(u)와 Tap 동작신호(u')에 따라 BESS동작 상태를 결정되도록 하였다.

$$BESS_{ope} = \tau \times \overline{u + u' + |\tau|} \quad (8)$$

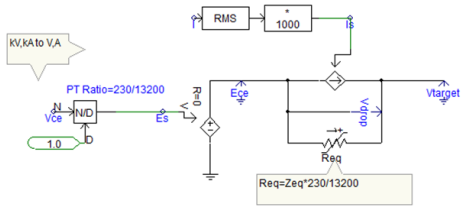
여기서, $BESS_{ope}$: BESS 운용신호, τ : BESS 충·방전 신호, u : Tap 변환신호, u' : SVR Tap 동작신호이다.

3. PSCAD/EMTDC를 이용한 선로전압조정장치와 전지전력저장장치의 모델링

태양광전원이 도입된 배전계통의 과전압 문제를 해결하기 위한 방안으로 SVR 도입이 제안되고 있다. 하지만 지연시간(30sec) 이후에 Tap을 동작시키는 SVR의 특성에 의하여, 이 시간동안 수용가전압은 규정치를 벗어날 가능성을 가지고 있다. 따라서 SVR 운용 시 발생할 수 있는 전압문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 LDC 방법에 의한 SVR의 전압조정 모델링과, 양방향으로 유무효전력을 제어할 수 있는 전지전력저장장치(Battery Energy Storage System)의 모델링을 제안하였다. 또한 SVR의 문제점을 보완하기 위하여, BESS와의 협조방안에 대한 모델링을 제시하였다.

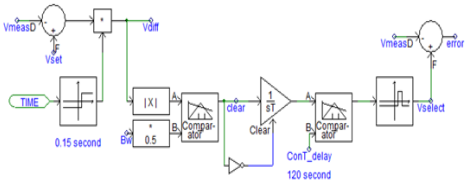
3.1 선로전압조정장치 모델링

SVR의 운용특성을 해석하기 위하여, 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 SVR의 모델링을 수행하였다. 2.1절의 식 (2)와 같이, 부하변동 크기에 따른 LDC의 최적전압조정요소(부하중심점전압과 등가임피던스)에 의하여 SVR의 최적 송출전압(V_{target})을 구하는 LDC방식을 모델링하면 Fig. 5와 같다. 여기서, Fig. 5의 좌측부분에는 계산된 부하중심점전압을 입력할 수 있도록 하였고, Fig. 5의 우측부분에는 계산된 등가임피던스와 실시간으로 측정된 부하전류에 의하여 송출전압이 결정되도록 하였다.



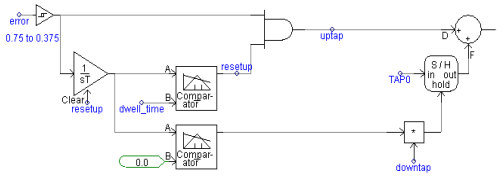
[Fig. 5] LDC method modelling of SVR

한편, 2.1절의 식 (5)에서 LDC 정정치에 의하여 계산된 송출전압과 SVR의 기준 탭 전압(13,200V)을 비교하여 보상율을 산정하는 모델링은 Fig. 6과 같다.

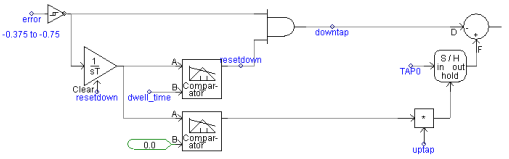


[Fig. 6] Tap control modelling of SVR

또한 2.1절의 식 (6)과 같이, 산정된 보상율에 의한 송출전압과 현재 SVR의 탭 전압을 비교하여 SVR Tap 위치(Tap Up , Tap Down)를 결정하는 모델링은 Fig. 7과 같다. 여기서 SVR Tap은 17개이며, ±10% 전압보상을 위하여 각 탭 간격은 1.25%가 되며, 불감대폭은 50%로 상정하였다.



(a) Up tap logic



(b) Down tap logic

[Fig. 7] Decision modelling of Tap Up and Tap Down

3.2 전지전력저장장치 모델링

목표로 하는 BESS의 유·무효분 출력값을 얻기 위하여, BESS의 출력을 결정하는 dq축의 기준전류(I_{ref-dq})를 산정해야한다. 즉, BESS의 기준 DC링크전압과 목표전력에 의한 DC 링크전압을 비교하여 전압차를 구한 후, 이 전압차를 비례적분(PI: proportional integral)하면 목표로 하는 dq축의 기준전류(I_{ref-dq})를 구할 수 있다. 여기서, 기준전류를 산정하는 식을 나타내면 식 (9)와 식 (10)과 같다.

$$I_d^r = (K\hat{p} + \frac{K\hat{i}}{s})(V_{DC-d}^* - V_{DC-d}) \quad (9)$$

$$I_q^r = (K\hat{p} + \frac{K\hat{i}}{s})(V_{DC-q}^* - V_{DC-q}) \quad (10)$$

여기서, I_{dq}^r: dq축 전류, V_{DC-dq}^*: 기준 DC링크전압, V_{DC-dq}: 목표 DC링크전압이다.

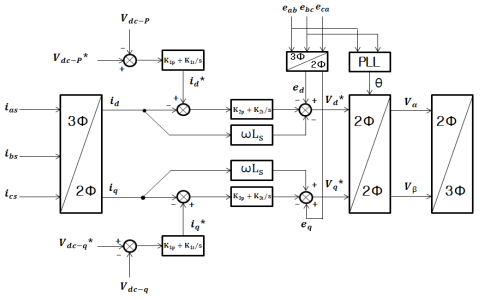
또한, 기준전류(I_{ref-dq})가 음의 값을 가질 때 BESS를 충전시키고, 양의 값을 가질 때 BESS를 방전시키기 위하여, 기본 전류제어 알고리즘에 적용하면 식 (11)과 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 전류 제어알고리즘은 디커플링 회로이기 때문에 유효전력과 무효전력을 서로 독립적으로 제어할 수 있다.

$$V_d = (I_{ref-d} - I_d) \cdot (k_p + \frac{k_i}{s}) - I_q \cdot \omega L + V_{sq} \quad (11)$$

$$V_q = (I_{ref-q} - I_q) \cdot (k_p + \frac{k_i}{s}) + I_d \cdot \omega L \quad (12)$$

여기서, I_{ref-q} : 인버터 출력의 기준전류, I_q : 계통의 전류이다.

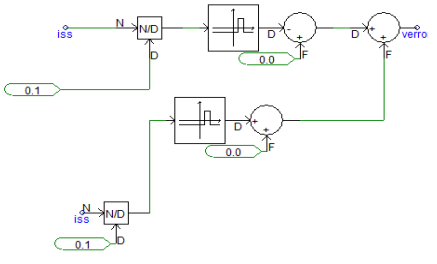
한편, 상기의 식 (11)과 식 (12)에 의하여 정전류원으로 충·방전을 수행할 수 있는 BESS를 모델링하면 Fig. 8과 같다.



[Fig. 8] BESS modelling

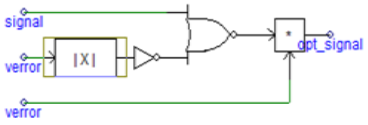
3.3 선로전압조정장치와 전지전력저장장치의 협조 모델링

SVR과 BESS의 운용에 따른 수용가 전압특성을 분석하기 위하여, 본 논문에서는 상기 2장에서 제안한 SVR과 BESS의 전압조정 방안을 바탕으로 협조 모델링을 제시하였다. 먼저 수용가전압이 규정치를 벗어 날 경우, 부하전류와 BESS의 동작기준전류를 비교하여 충·방전 여부를 판별하는 2.3절의 식 (8)의 τ를 모델링하면 Fig. 9와 같다.



[Fig. 9] Control modelling of BESS

또한 식 (8)과 같이, SVR의 Tap 변환신호(u) 와 Tap 동작신호(u'), 그리고 BESS의 충방전 동작신호에 의하여, SVR의 지연시간(30sec)동안 BESS를 운용하는 협조제어 알고리즘을 모델링하면 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있다.



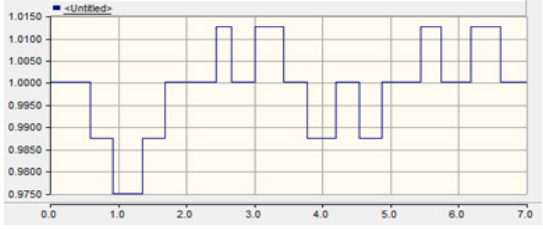
[Fig. 10] Modelling of coordination algorithm between SVR and BESS

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 상기에서 언급한, SVR의 Tap 지연시간 동안 발생되는 수용가의 전압 문제를 해결하기 위하여, 제안한 SVR과 BESS의 협조제어 모델링에 의한 SVR과 BESS의 동작특성을 검증하였다. 또한, 이를 바탕으로 태양광전원이 연계된 배전계통에 SVR과 BESS의 도입에 따른 수용가전압 특성을 분석하여, 본 논문에서 제안한 모델링의 유용성을 확인하였다.

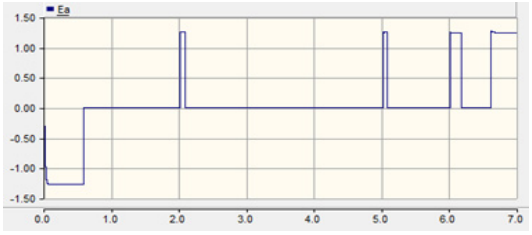
4.1 선로전압조정창치와와 전지전력저장장치의 모델링 검증

SVR의 전압조정 모델링을 바탕으로, SVR의 Tap 동작특성을 분석하였다. 분석 결과 부하변동이 발생하게 되면 Fig. 11과 같이, SVR의 Tap은 일정시간(30sec) 이후에 정확하게 동작하여, 배전선로에 전압보상이 가능함을 확인하였다.



[Fig. 11] Performance characteristics of SVR

한편, 제안한 SVR과 BESS의 협조제어 모델링을 바탕으로, SVR의 tap동작 지연시간동안 BESS의 동작여부를 분석하였다. 분석 결과, Fig. 12와 같이 SVR의 tap동작 지연시간 안에서 수용가전압이 규정치를 벗어나는 경우에만 BESS가 동작함을 확인하였다. 따라서 SVR 특성상 전압조정이 이루어지지 않는 시간대에 BESS가 동작하여, 배전선로에 전압보상이 완벽하게 이루어질 수 있음을 알 수 있었다.

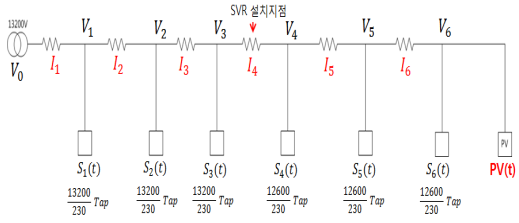


[Fig. 12] Performance characteristics of BESS

4.2 선로전압조정장치와 전지전력저장장치의 운용에 따른 수용가전압 특성 분석

(1) 시뮬레이션 조건

SVR과 BESS의 도입에 따른 수용가의 전압특성을 분석하기 위하여, Fig. 13과 같이, 6개의 구간으로 이루어진 배전선로의 말단에 태양광전원을 연계하고, 3번째 구간에는 SVR과 BESS를 도입하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 중부하시 615V의 전압강하를 초과하는 구간의 주상변압기는 12600/230 Tap을 적용하였다.



[Fig. 13] Block diagram of distribution system

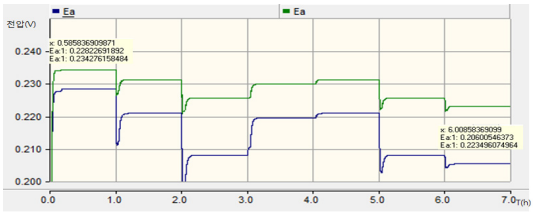
수용가는 ZIP모델 중 가장 높은 비중을 차지하는 정전력 부하로 구성하고, 태양광전원은 실계통과 동일한 패턴으로 모의하였다. 또한, ACSR-160㎟의 선종을 채택한 배전선로는 총 31km의 긍장과 6개 구간으로 나누어지며, 이에 대한 상세 데이터는 Table. 1에서 나타내었다.

[Table 1] Data of distribution system

Section Number	Impedance		Length (km)	Power Factor	Load	PV system (kW)
	R (Ω/km)	X (Ω/km)				
1	0.182	0.391	3	0.9	0.2~0.8MW	0
2	0.182	0.391	4	0.9	0.2~0.8MW	0
3	0.182	0.391	3	0.9	0.2~0.4MW	0
4	0.182	0.391	10	0.9	0.6~1.6MW	0
5	0.182	0.391	8	0.9	0.8~1.8MW	0
6	0.182	0.391	3	0.9	0.4~2.0MW	0~1.6MW

(2) 태양광전원이 연계된 배전계통의 수용가 전압 특성

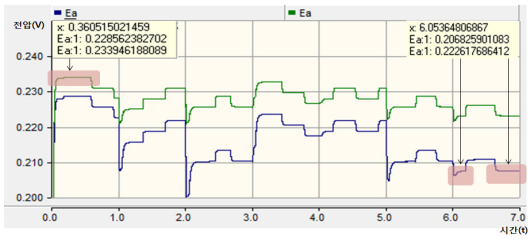
태양광전원이 연계된 배전계통에 SVR를 도입하지 않은 경우의 저압측 수용가에 대한 전압특성을 분석하였다. 여기에서 시간대는 태양광전원의 출력패턴과 부하패턴을 고려하여, 1시간단위로 오전 12시부터 오후 6시까지의 시간대를 적용하였다. 분석결과, Fig. 14와 같이 첫 번째 시간대에서는 태양광전원에 의하여 배전선로 말단구간에서 전압상승이 발생하여, 직하 수용가의 전압이 허용치(233V)를 초과함을 확인하였다. 또한, 중부하시인 마지막 시간대에서는 말단수용가의 전압이 허용치(207V) 미만으로 되어 저전압현상이 발생함을 알 수 있었다.



[Fig. 14] Characteristic of customer voltage without SVR

(3) SVR이 도입된 배전계통의 수용가 전압특성

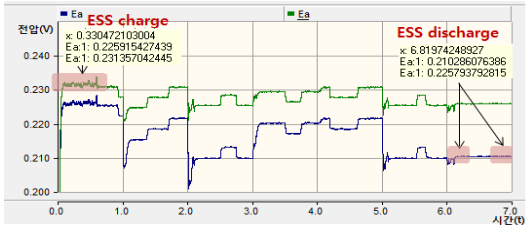
상기에서 발생한 수용가 전압의 문제점을 해결하기 위하여, 태양광전원이 연계된 배전계통에 SVR를 도입한 경우, SVR 운용에 의한 수용가 전압특성을 분석하였다. 이 결과, Fig. 15와 같이 SVR 운용에 의하여, 상기에서 발생한 수용가의 과전압 및 저전압현상이 모두 해소되어 적정 범위를 유지함을 확인하였다. 하지만, SVR의 동작지연시간(30sec)동안에는 전압보상이 이루어지지 않아, 완벽하게 규정전압을 유지할 수 없음을 확인하였다.



[Fig. 15] Characteristic of customer voltage with SVR

(4) SVR과 BESS가 도입된 배전계통의 수용가 전압특성

SVR의 동작지연시간(30sec)동안에 발생할 있는 전압문제를 해결하기 위하여, 태양광전원이 연계된 배전계통에 SVR과 BESS의 도입에 따른 특성을 분석하였다. 이 결과, Fig. 16과 같이 SVR과 BESS가 도입되어 협조운용을 수행한 경우, SVR의 tap동작 지연시간에서 수용가 전압이 규정치를 벗어나는 경우에만 BESS는 충·방전을 수행하여 안정적으로 전압보상이 이루어짐을 확인하였다. 따라서 SVR과 BESS운용에 의하여, 수용가의 과전압 및 저전압이 모두 해소되어 적정 범위를 유지함을 알 수 있었다.



[Fig. 16] Characteristics of customer voltage by operating coordination control between SVR and BESS

5. 결론

본 연구에서는, SVR과 BESS(battery energy storage system)의 전압조정방안을 바탕으로, 배전계통의 상용소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 SVR과 BESS의 모델링을 제안하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 논문에서 제안한 모델링을 이용하여 SVR의 Tap동작지연시간 동안에만 BESS가 운용되도록 시뮬레이션을 수행한 결과, 수용가의 규정전압을

초과한 부분에서 정확한 BESS의 출력제어가 이루어짐을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 SVR과 BESS의 협조제어가 정확하게 이루어져 배전계통에서 전압문제가 발생할 경우, 이에 대한 전압보상을 수행할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) SVR를 도입한 경우, 태양광발전량에 따른 수용가의 과전압 및 저전압이 모두 해소되어 적정 범위를 유지하였지만, SVR의 동작지연시간(30sec)동안에는 전압보상이 이루어지지 않아, 완벽하게 규정전압을 유지할 수 없음을 확인하였다.

(3) SVR과 BESS가 도입되어 협조운용을 수행한 경우, 수용가에서의 과전압 및 저전압이 모두 해소되어 적정 범위를 유지하였고, SVR의 tap 동작지연시간(30sec)동안에 BESS의 충·방전에 의하여 전압보상이 이루어져 완벽하게 규정전압을 유지할 수 있음을 확인하였다.

References

[1] IEC, "Electrical Energy Storage", IEC MSB(Market Strategy Board), 2010.10

[2] NREL, "Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage", IEC MSB(Market Strategy Board), 2012.10.

[3] EPRI, "Integrating Smart Distributed Energy Resources with Distribution Management Systems", An EPRI Overview on Managing Distributed Energy Resources, Product No. 1024360, 2012.09.

[4] Wood Allen J, Wollenberg Bruce F. "Power Generation, Operation, and Control", 1976.

[5] IEC, "Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage," IEC, 2012.

[6] EPRI, "Integrating Smart Distributed Energy Resources with Distribution Management Systems," EPRI, September 2012.

[7] D. Rho and Hasegawa. J, "A study on the optimal voltage regulation methods in power distribution systems interconnected with dispersed energy storage and generation systems", JIEE, Vol.8, No. 4, pp. 702~707, 1995.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/EMPD.1995.500814

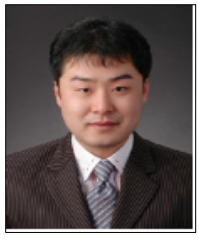
[8] B. Kim and D. Rho, "Optimal Voltage Regulation Method for Distribution System with Distributed Generation Systems Using the Artificial Neural Networks", JEET 2013, Vol.8, No. 4, pp. 712~718, 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2013.8.4.712

[9] R.Y. Kim, S.Y. Choi, and I.Y.Suh, "Instantaneous Control of Average Power for Grid Tie Inverter Using Phase D-Q Roatting Frame with ALL Pass Filter", in Proc. IEEE-IECON, pp.274-279, 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2004.1433322

[10] D. Rho and M. Kim," A study on the Optimal Operation of Line Voltage Regulator (SVR) in Distribution Feeders", 2004 IFAC Symposium, Seoul, South Korea, 2004.09.

[11] M. Kim, D. Rho, J. Kim, K. Kim, "Optimal Operation Method of Multiple Voltage Regulators in Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", Trans. KIEE. Vol. 54A. No. 2, 2005.02.

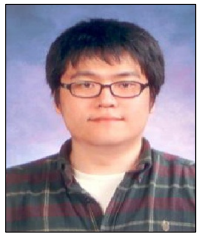
김 병 기(Byung-Ki Kim) **[정회원]**



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사수료

<관심분야>
배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

김 기 영(Gi-Young Kim) **[준회원]**



- 2011년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야>
신재생에너지, 연료전지발전시스템, BESS

이 주 광(Ju-Kwang Lee) **[정회원]**

- 1988년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정 재학중

<관심분야>
배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

최 성 식(Sung-Sik Choi) **[준회원]**

- 2010년 5월 : 한국기술교육대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야>
배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

노 대 석(Dae-Seok Rho) **[정회원]**

- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>
전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석