

# 재귀형 최소 자승법을 이용한 동적 전압 보상기의 순시전압강하 검출

지균선, 주성탁, 이교범  
아주대학교 전자공학과

## Instantaneous Voltage Sag Detection for Dynamic Voltage Restorer using Recursive Least Square Method

Kyun Seon Ji, Sung Tak Jou, Kyo Beum Lee  
Ajou Univ., Dept. of Electrical and Computer Engineering

### ABSTRACT

본 논문에서는 동적 전압 보상기를 위한 적응성을 향상시킨 입력 전압의 크기를 검출하는 기법을 제안한다. 동적 전압 보상이 계통 전압에서 발생한 순시전압강하를 보상하기 위해서는 강하된 전압을 검출해야 한다. 외란에 강인하고 빠른 응답 특성을 가지는 재귀형 최소 자승법을 사용하여 입력 전압으로부터 강하된 전압의 크기를 구하고 보상전압을 생성한다. 생성된 보상전압은 입력 전압에 더해져 안정된 부하전압을 공급한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 방법의 타당성을 검증한다.

### 1. 서 론

현대 산업이 발달함에 따라 대형 변압기 및 대형 전동기의 동작, 비선형 부하의 증가, 가변속 장치 및 정류기 사용 급증, 계통에서의 지락사고 등의 현상이 날로 늘어나고 있다. 이는 순시전압강하 등의 전력품질의 저하 문제로 이어지고 반도체 공정 라인 등에 직접적인 영향을 주어 경제적으로 심각한 문제를 야기한다. 순시전압강하는 송배전 계통에서 생기는 전압 이상 현상으로 수 주기 동안 발생하는 일시적인 전압강하 현상으로서 일반적인 정전과는 그 의미가 다르다. 송전 계통에서의 순시전압강하 발생 원인으로 대부분 낙뢰나 지락사고 등이 있으며 배전계통에서의 발생 원인은 대형 전동기 구동이나 아크로, 전력변환장치 등의 비선형 부하 동작 등이 있다. 특히 스위칭 부하의 스위칭 순간에 발생하는 구형파나 펄스형태의 전류로 인하여 스위칭 전후에 큰 전류변화가 나타난다. 이는 배전계통의 내부 임피던스에 의한 전압강하를 야기하여 전원전압에 심한 왜곡을 가져온다. 이 같은 전력품질의 저하 문제가 발생하게 되면, 반도체 공정 라인 등에서 사용하는 로봇, 통신기기 및 각종 반도체를 이용한 기기 및 시스템이 고장이나 오동작 문제를 야기할 수 있다. 전원장애에 대한 대비책으로 순시전압강하에 관계없이 부하에서 요구되는 전압을 공급할 수 있도록 사용되고 있는 것이 동적 전압 보상기(Dynamic Voltage Restorer)이다. 동적 전압 보상은 순시전압강하가 발생하면 강하된 전압을 보상하여 전력품질에 민감한 부하에 안정된 전압을 공급한다<sup>[1]</sup>. 보상전압을 계산하기 위해 순시전압강하를 검출하는 많은 방법들에 대한 연구가 진행되었다<sup>[2],[3]</sup>.

본 논문에서는 외란에 강인하고 빠른 응답특성을 가지는 재귀형 최소 자승법(Recursive Least Square Method)을 사용하

여 순시전압강하를 검출하는 기법을 제안한다. PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안하는 기법의 타당성 및 성능을 검증한다.

### 2. 순시전압강하 검출

#### 2.1 최소 자승법을 이용한 순시전압강하 검출

최소 자승법(Least Square Method)을 사용하여 순시전압강하를 검출하기 위해서 입력 전압은 시간에 의존적이며 각속도  $\omega$ 를 알고 있는 정현파여야 한다<sup>[4]</sup>. 각속도는 알지만 크기  $V$ 와 위상각  $\theta$ 를 모르는 입력 전압  $v$ 를 일반적으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$v = V \times \cos(\omega t + \theta) \quad (1)$$

입력 전압  $v$ 는 다시 직교하는 sine와 cosine함수 성분의 계수를 갖는  $V_R$ 과  $V_I$ 크기의 변수로 나누어 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \sin(\omega\Delta t) & \cos(\omega\Delta t) \\ \sin(2\omega\Delta t) & \cos(2\omega\Delta t) \\ \sin(3\omega\Delta t) & \cos(3\omega\Delta t) \\ \vdots & \vdots \\ \sin(N\omega\Delta t) & \cos(N\omega\Delta t) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_R \\ V_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v(t) \\ v(t-\Delta t) \\ v(t-2\Delta t) \\ \vdots \\ v(t-(N-1)\Delta t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $\Delta t$ 는 샘플링 주기이며  $N$ 은 샘플링 데이터 개수이다.  $V_R$ 과  $V_I$ 행렬을 행렬  $[x]$ 로 놓고, 식 (2)를 행렬 기호로 다시 표현하면 식 (3)과 같다.

$$[A] \times [x] = [B] \quad (3)$$

식 (3)을 행렬  $[x]$ 에 대해 정리하면 식(4)와 같다.

$$[x] = [A]^{LPI} [B], ([A]^{LPI} = [[A]^T \times [A]]^{-1} \times [A]^T) \quad (4)$$

여기서 LPI는 행렬의 Left Pseudo Inverse 형태이다. 식 (4)를 이용하여 변수  $V_R$ 과  $V_I$ 를 구할 수 있고, 식 (5), (6)을 통해 입력 전압의 크기와 위상각을 각각 구할 수 있다.

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_I^2} \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_I}{V_R}\right) - \omega t \quad (6)$$

## 2.2 재귀형 최소 자승법을 이용한 순시전압강하 검출

본 논문에서 제안하는 재귀형 최소 자승법을 이용한 순시전압강하 검출 기법은 최소 자승법을 이용한 순시전압강하 검출 기법보다 처리하는 데이터 양이 적어 비교적 빠른 응답특성을 가지고 외란에 강인하다. 제안하는 재귀형 최소 자승법을 표현하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} X_0 &= 0 \\ P_0 &= I/\lambda \\ G_{n+1} &= P_n A_{n+1}^T (\lambda + A_{n+1} P_n A_{n+1}^T)^{-1} \\ P_{n+1} &= (I - G_{n+1} A_{n+1}) P_n / \lambda \\ X_{n+1} &= X_n + G_{n+1} (Y_{n+1} - A_{n+1} X_n) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $\lambda$ 는 Forgetting Factor이며, 0에서 1사이의 실수값을 가진다. Forgetting Factor를 1로 선정하면 수치적으로 불안정해지므로 1보다 작지만 1과 가까운 값을 사용한다. 그러면 과거의 데이터가 현재 출력에 대한 영향이 줄어들어 빠른 응답특성을 얻을 수 있다.

## 3. 시뮬레이션

그림 1은 계통전압에서 50%의 순시전압강하가 발생했을 때, 이를 최소 자승법을 이용하여 검출한 파형과 재귀형 최소 자승법을 이용하여 검출한 파형이다.

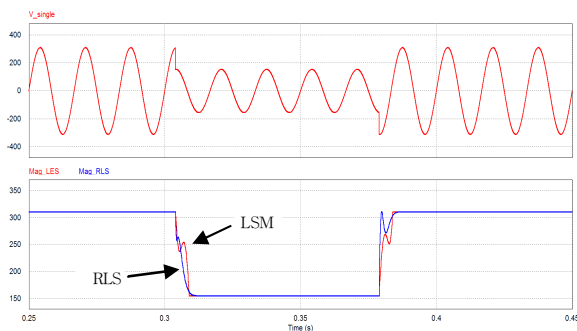


그림 1 최소 자승법(LSM)과 재귀형 최소 자승법(RLS)을 이용한 순시전압강하 검출 파형  
Fig. 1 Instantaneous voltage sag detection waveform of Least square method and Recursive least square method

입력 전압은 계통 전압을 모델로 삼아 311V의 피크 전압을 가지며 50%의 순시전압강하를 모의하였다. 순시전압강하가 발생한 시점은 입력 전압이 음과 양의 피크 값일 때이다. 재귀형 최소 자승법을 이용한 검출 기법이 최소 자승법을 이용한 검출

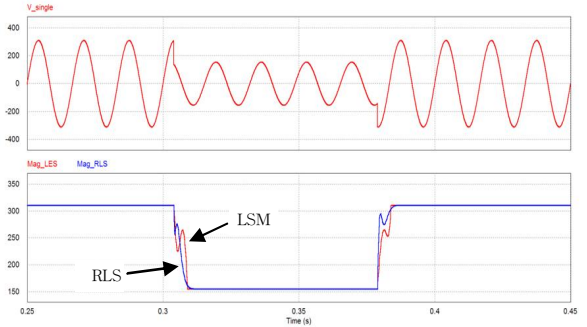


그림 2 최소 자승법(LSM)과 재귀형 최소 자승법(RLS)을 이용한 위상지연 순시전압강하 검출 파형  
Fig. 2 Instantaneous voltage sag with phase lag detection waveform of Least square method and Recursive least square method

기법보다 빠른 응답특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 30도의 위상지연과 함께 순시전압강하가 발생했을 때의 검출 파형이다. 평형 순시전압강하가 발생했을 때와 마찬가지로 재귀형 최소 자승법을 이용한 검출 기법이 더 우수한 응답특성을 보인다.

## 4. 결론

본 논문에서는 순시전압강하가 발생했을 때, 동적 전압 보상을 위한 재귀형 최소 자승법을 이용한 순시전압강하 검출 기법을 제안하였다. 재귀형 최소 자승법은 최소 자승법 보다 외란에 강인하고 빠른 응답특성을 가지며 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 검증하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2013R1A1A2A10006090)

## 참고 문헌

- [1] A. Ghosh, A.K. Jindal, A. Joshi, "Design of a capacitor supported dynamic voltage restorer (DVR) for unbalanced and distorted loads", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, Iss. 1, pp. 405-413, 2004, January.
- [2] C. Fitzer, M. Barnes, P. Green, "Voltage sag detection technique for a dynamic voltage restorer", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, Iss. 1, pp. 203-212, 2004, February.
- [3] B. Bae, J. Lee, J. Jeong, B. Han, "Line Interactive Single Phase Dynamic Voltage Restorer With Novel Sag Detection Algorithm", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, Iss. 4, pp. 2702-2709, 2010, September.
- [4] F. Badrkhani Ajaei, S. Afsharnia, A. Kahrobaiian, S. Farhangi, "A Fast and Effective Control Scheme for the Dynamic Voltage Restorer", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, Iss. 4, pp. 2398-2406, 2011, October.