

순시전압 보상을 위한 불평형 전압 검출기법에 관한 연구

論 文

51B-4-7

A Study on the Detection of Unbalanced Voltages for Instantaneous Voltage Compensation

鄭泓柱*·崔時榮*·鄭準模**·宋鍾煥***

(Hong-Ju Jung · See-Young Choi · Joon-Mo Chung · Jhong-Hwan Song)

Abstract - This paper presents a new control scheme for a DVR(Dynamic Voltage Restorer) system consisting of series voltage source PWM converters. To control negative sequence component of source voltage the detection of negative sequence is necessary. Generally, filtering process is used to do that. Through this filtering process has some problems. This paper suggests a new method of separating positive and negative sequences. This control system is designed using differential controllers and digital filters, and positive sequence and negative sequences are controlled respectively. The performance of the presented controller and scheme are confirmed through simulation and actual experiment by 2.5kVA prototype DVR.

Key Words : Dynamic voltage restorer, positive sequence, negative sequence, digital filter, differential controller

1. 서 론

산업의 발달과 더불어 사용이 급증하고 있는 컴퓨터와 사무 자동화기기, 로봇과 생산 자동화기기, 의용 전자기기와 통신기기 등은 전력을 공급하는 배전 계통에서 발생하는 순간 정전, 순간전압강하, 과전압, 고조파 등과 같은 외란에 대단히 민감하다. 따라서 이 외란을 적절히 제거하지 않으면 관련장비는 고장이나 오동작을 일으켜 생산지연이나 조업중단 같은 막대한 손실을 초래한다[1][2][3]. 보상대책으로 가장 많이 사용되어지는 장비로서 무정전 전원 장치(UPS; Uninterruptible Power Supply)가 있는데, 이것은 정전뿐만 아니라 순간전압강하(Voltage Sag) 및 순간전압상승(Swell) 등 다양한 배전 계통의 사고로부터 부하를 보호할 수 있으나, 손실이 크며 가격이 고가여서 제한적으로 사용되어지고 있다[3]. 이에 비해 동적 순간전압 보상기(DVR; Dynamic Voltage Restorer)는 정전으로부터 부하를 보호할 수는 없지만, 배전 계통의 사고 중 90% 이상을 차지하는 순간전압강하와 순간전압상승의 보상을 주목적으로 하는 보상기로, 고비용이고 유지보수가 까다로운 축전지가 필요없고, 일반적으로 부하용량의 30~50%의 용량만을 가지므로 가격대비 성능이 무정전 전원 장치보다 우수하므로 많은 연구가 되어 왔다[4][5][6][7].

일반적으로 계통의 전원에 문제가 발생하면 전원은 불평형 상태, 즉 정상성분과 역상분이 혼재하게 되는데, 정상상태 위

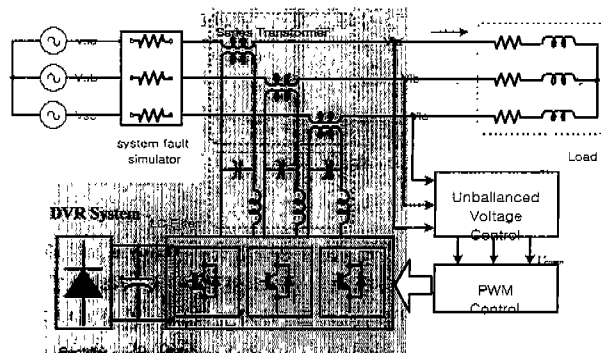


그림 1 시스템 구성도

Fig. 1 DVR system configuration

상지연을 없애기 위해서는 정상분과 역상분을 각각 직류성분으로 검출하여 제어하는 것이 필요하다[1][2]. 일반적으로 정상분과 역상분의 분리를 위해서 동기좌표계변환 후 정상분과 역상분을 저대역 필터(LPF; Low Pass Filter)를 통해 분리하는 방법이 사용되어 진다[8]. 정상분만을 분리하기 위하여 정상분기준 동기좌표계에서 나타나는 120[Hz]의 역상분 성분을 저대역 필터를 통해 제거하게 된다. 역상분만을 분리하기 위해서는 역상분기준 동기좌표계변환된 역상분에 포함되어 있는 120[Hz] 성분의 큰 정상분을 제거 하여야 하는데, 이를 효과적으로 제거하기 위해서는 저대역 필터의 컷오프(cut-off) 주파수를 낮춰야 하며 이는 제어기의 응답성을 떨어뜨리게 되는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 정상분과 함께 역상분에 대한 효과적인 보상을 위해 정상분과 역상분을 미분기에 통과시킨 다음 이 결과 값을 원 정상/역상 신호에 상호 교차 연산하여 순수한 정상분과 역상분 신호를 추출하므로 제어의 안정성과 정밀성을 보장하는 방법을 제시하였으며 시

* 正 會 員 : (주)曉星 重工業研究所 研究員

** 正 會 員 : (주)曉星 重工業研究所 責任研究員

*** 正 會 員 : (주)曉星 重工業研究所 首席研究員

接受H字 : 2001年 9月 4日

最終完了 : 2002年 1月 24日

물레이션과 실험을 통하여 제안의 타당성을 검증하였다.

2. 불평형 전압의 표현

그림 1은 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 계통의 고장을 인위적으로 발생시키기 위해 전자점속기를 사용하여 동적 순간전압 보상기 앞단에 순간적으로 저항을 투입할 수 있게 하였다. 부하로는 권선형 저항을 사용하였다. 계통이 정상일 때에는 바이패스 스위치를 동작시켜 능적 순간전압 보상기를 계통으로부터 분리시켜 인버터를 동작시키지 않는다. 계통에 이상이 발생하여 전압강하가 발생했을 경우 바이패스 스위치를 오프시켜 직렬로 연결되어 있는 인버터를 직렬변압기를 통해 계통에 연결시켜 이상전압을 보상하도록 동작시킨다. 이 때 전원 전압의 1상 또는 2상에 전압 강하가 발생하게 되면 역상분이 발생하게 된다. 발생된 역상 전압의 수식적인 전계를 위해 행렬 C와 R(θ)를 다음과 같이 정의한다. C는 3상시스템을 정지좌표계로 변환하기 위한 행렬이고, R(θ)는 어떤 벡터를 반시계방향으로 θ 만큼 회전시키는 행렬이다.

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}, \quad R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

3상의 부하전압을 정지좌표계로 변환하면 식(1)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} V_{Lds} \\ V_{Lqs} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} C^T \begin{bmatrix} V_{La} \\ V_{Lb} \\ V_{Lc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)에서 위 첨자 T는 전치행렬임을 나타내고, 아래 첨자 L은 부하전압임을 나타낸다. 정지좌표계에서 부하전압의 정상분과 역상분은 일정한 크기를 가지고 각각 반시계방향으로 ωt와 -ωt의 속도로 회전한다. 이것은 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} V_{Lds} \\ V_{Lqs} \end{bmatrix} = R(\omega t) \begin{bmatrix} V_{Ld}^p \\ V_{Lq}^p \end{bmatrix} + R(-\omega t) \begin{bmatrix} V_{Ld}^n \\ V_{Lq}^n \end{bmatrix} \quad (2)$$

위 첨자 p와 n만으로 표시된 값은 각각 정상분과 역상분 크기만을 나타내는 값으로 동기좌표계의 종류에 상관없이 일정한 값이다. 식(2)에서 알 수 있듯이, 정지좌표계값을 정상분이 직류가 되는 정상분기준 동기좌표계값으로 변환시키기 위해서는 R(-ωt)를 식(2)의 양변에 곱해주어야 한다. 이것을 수식으로 표현하면 식(3)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} V_{Ld}^{(p)} \\ V_{Lq}^{(p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{Ld}^{p(p)} \\ V_{Lq}^{p(p)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{Ld}^{n(p)} \\ V_{Lq}^{n(p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{Ld}^p \\ V_{Lq}^p \end{bmatrix} + R(-2\omega t) \begin{bmatrix} V_{Ld}^n \\ V_{Lq}^n \end{bmatrix} \quad (3)$$

위 첨자 (p)는 이 값이 정상분기준 동기좌표계값임을 나타낸다. 부하전압의 정상분기준 동기좌표계값을 정상분과 역상분으로 분리하여 표현한 것이 각각 위 첨자 p(p)와 n(p)으로

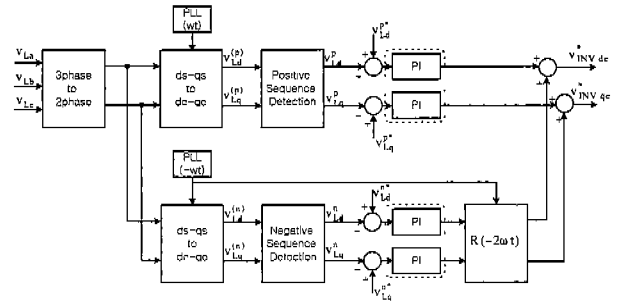


그림 2 전체 시스템 제어 블록도
Fig. 2 The control block diagram

표시되어 있다. 식(3)에서 보듯이, 정상분기준 동기좌표계에서 정상분은 정지하고 있는 벡터가 되고, 역상분은 시계방향으로 2ωt로 회전하는 벡터가 됨을 알 수 있다.

식(2)에서 정지좌표계값을 역상분이 일정한 역상분기준 동기좌표계값으로 변화시키기 위해서는 R(ωt)를 식(2)의 양변에 곱해주어야 함을 알 수 있다. 이것을 수식으로 표현한 것이 식(4)이다.

$$\begin{bmatrix} V_{Ld}^{(n)} \\ V_{Lq}^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{Ld}^{n(n)} \\ V_{Lq}^{n(n)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{Ld}^{p(n)} \\ V_{Lq}^{p(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{Ld}^n \\ V_{Lq}^n \end{bmatrix} + R(2\omega t) \begin{bmatrix} V_{Ld}^p \\ V_{Lq}^p \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(5)에서 위 첨자 (n)은 역상분기준 동기좌표계임을 나타낸다. 위 첨자 n(n)과 p(n)은 역상분기준 동기좌표계에서 역상분과 정상분임을 각각 나타낸다. 식(4)에서 역상분은 정지한 벡터가 되고, 정상분은 반시계방향으로 2ωt로 회전하는 벡터가 됨을 알 수 있다.

동적 순간전압 보상기의 제어는 배전계통의 사고로 인해 발생된 이상전압을 인버터가 보상해주기 위한 전압제어기로 구현된다. 이것은 3상 전압의 피드백 제어를 통해 구현되어 질 수 있다. 그러나 이 경우에는 교류성분을 제어해야 하므로 정상상태 위상지연이 발생하게 된다. 따라서 정상상태 위상지연을 없애기 위해서는 직류성분의 정상분과 역상분만을 각각 분리하여 제어해 줄 필요가 있다. 그림 2는 이 과정을 나타내는 블록도이다. 검출된 부하전압은 정지좌표계로 변환된 후 각각의 동기좌표계로 다시 변환된다. 이렇게 변환된 값은 식(3)과 식(4)에서 보듯이 직류성분과 120[Hz] 성분으로 구성되어 있다. 직류성분으로 분리된 역상분과 정상분은 각각 피드백제어를 통해 제어되고, 역상분기준 동기좌표계값인 역상분 제어기 출력값은 정상분기준 동기좌표계의 값으로 변환된 후 정상분 제어기의 출력과 합쳐져 인버터의 지령치를 생성한다. 일반적으로 각각의 동기좌표계에서 120Hz성분을 제거하기 위한 저대역 필터가 직류의 정상분과 역상분을 검출하기 위해 사용되어진다. 그러나 역상분기준 동기좌표계에서 역상분만을 검출할 시, 120[Hz] 성분인 정상분이 직류성분인 역상분에 비하여 크므로 정상분의 제거가 용이하지 않다. 또한 정상분기준 동기좌표계에서 정상분을 분리할 때에도, 큰 불평형 전압이 발생하였을 경우에는 큰 역상분 전압으로 인하여 정상분만을 검출하기가 용이하지 않다. 이렇게 큰 제 2고조파 성분을 제거하기 위해서는 저대역 필터의 컷오프 주파수를 낮춰야 하는데, 이 경우 시스템이 불안정하게 되고,

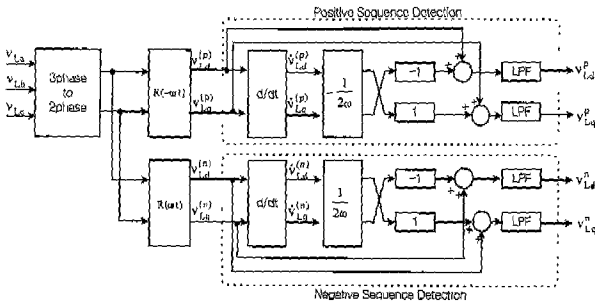


그림 3 제안된 미분기와 노이즈 필터를 이용한 정/역상분 분리

Fig. 3 The proposed method for separating positive and negative sequence components.

응답이 느려져 빠른 응답이 요구되어지는 동적 순간전압 보상기의 제어에 많은 문제점을 야기시킨다.

3. 정상분과 역상분의 분리

3.1 성분 분리를 위한 미분기의 구성

앞으로의 논의에서 정상분과 역상분의 크기는 일정하다고 가정한다. 따라서 식(3)을 시간에 대하여 미분하면 식(5)와 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_{Ld}^{(p)} \\ \dot{v}_{Lq}^{(p)} \end{bmatrix} = -2\omega \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot R(-2\omega t) \begin{bmatrix} v_{Ld}^n \\ v_{Lq}^n \end{bmatrix} \quad (5)$$

벡터를 회전시키는 행렬 $R(-2\omega t)$ 의 미분은 $-2\omega R\left(\frac{\pi}{2}\right)R(-2\omega t)$ 가 되고, 정상분은 시간에 대해 일정하므로 미분하면 0이 된다. 식(5)를 -2ω 로 나누고 반시계방향으로 90° 회전시키면 식(6)과 같이 된다.

$$-\frac{1}{2\omega} \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \begin{bmatrix} \dot{v}_{Ld}^{(p)} \\ \dot{v}_{Lq}^{(p)} \end{bmatrix} = R(\pi) \cdot R(-2\omega t) \begin{bmatrix} v_{Ld}^n \\ v_{Lq}^n \end{bmatrix} \quad (6)$$

따라서 식(2)의 역상분과 식(6)은 크기는 같고 180° 의 위상차가 발생하는 벡터이므로 더하면 0이 되므로 두 식의 합은 식(7)처럼 역상성분은 제거되고 직류성분인 정상성분만 남게 된다.

$$\begin{bmatrix} v_{Ld}^{(p)} \\ v_{Lq}^{(p)} \end{bmatrix} - \frac{1}{2\omega} \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \begin{bmatrix} \dot{v}_{Ld}^{(p)} \\ \dot{v}_{Lq}^{(p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{Ld}^n \\ v_{Lq}^n \end{bmatrix} \quad (7)$$

따라서 저대역 필터를 사용하지 않고 직류의 정상성분만을 분리할 수 있으므로 제어의 안정성과 정밀성을 확보할 수 있다. 같은 방법으로 식(8)을 이용해 직류성분의 역상분만을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{Ld}^{(n)} \\ v_{Lq}^{(n)} \end{bmatrix} + \frac{1}{2\omega} \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \begin{bmatrix} \dot{v}_{Ld}^{(n)} \\ \dot{v}_{Lq}^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{Ld}^n \\ v_{Lq}^n \end{bmatrix} \quad (8)$$

그림 3은 직류의 정상성분과 역상성분을 분리하기 위해 식(7)과 식(8)을 구현한 블록도이다.

3.2 디지털 구현

간략화된 표현을 위해 동기좌표계의 d축과 q축 성분을 나타내는 벡터를 아래첨자 d와 q를 생략하고 다음과 같이 표시할 수 있다. 다른 첨자는 그대로 쓰도록 한다.

$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \end{bmatrix} = \bar{X}$$

이때 식(3)은 식(9)와 같이 표현된다.

$$\bar{v}_L^{(p)} = \bar{v}_L^{n(p)} + \bar{v}_L^{n(p)} \quad (9)$$

식(9)를 n번째 샘플링에 대하여 표현하면 식(10)과 같이 표현된다.

$$\bar{v}_L^{(p)}[n] = \bar{v}_L^{n(p)}[n] + \bar{v}_L^{n(p)}[n] \quad (10)$$

식(10)을 샘플링시간 T_{samp} 에 대해 미분을 수행하기 위해 n번째 벡터에서 (n-1)번째 벡터를 뺀 벡터의 크기는 식(11)과 같이 된다. 역상분은 시계방향으로 $2\omega t$ 의 속도로 회전하므로 T_{samp} 동안 회전한 각은 $2\omega T_{\text{samp}}$ 가 된다.

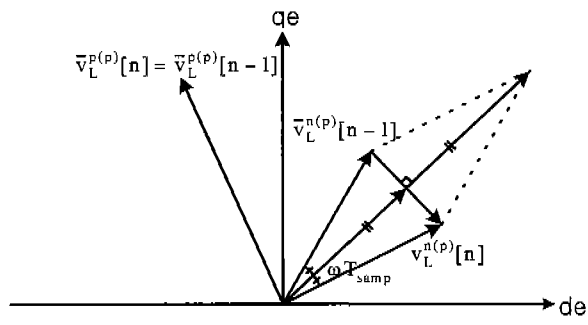
$$\left| \bar{v}_L^{(p)}[n] - \bar{v}_L^{(p)}[n-1] \right| \approx 2 \tan(\omega T_{\text{samp}}) \left| \frac{\bar{v}_L^{n(p)}[n] + \bar{v}_L^{n(p)}[n-1]}{2} \right| \quad (11)$$

또한 식(11)에서 벡터의 방향은 n번째 벡터와 (n-1)번째 벡터의 합벡터를 -90° 회전시킨 방향이 된다. 따라서 식(10)을 샘플링시간 T_{samp} 에 대해 미분한 벡터를 표시하면 식(12)과 같이 된다.

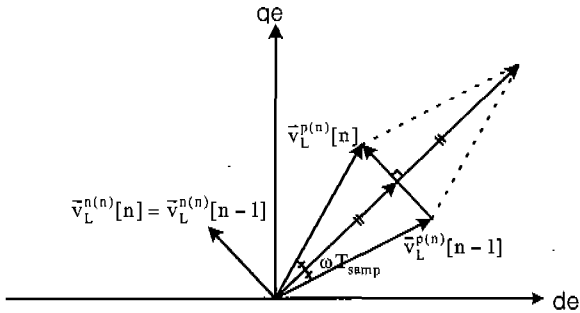
$$\frac{\bar{v}_L^{(p)}[n] - \bar{v}_L^{(p)}[n-1]}{T_{\text{samp}}} = 2 \frac{\tan(\omega T_{\text{samp}})}{T_{\text{samp}}} \left| \frac{\bar{v}_L^{n(p)}[n] + \bar{v}_L^{n(p)}[n-1]}{2} \right| R\left(-\frac{\pi}{2}\right) \frac{(\bar{v}_L^{n(p)}[n] + \bar{v}_L^{n(p)}[n-1])}{(\bar{v}_L^{n(p)}[n] + \bar{v}_L^{n(p)}[n-1])} \quad (12)$$

T_{samp} 가 충분히 작다는 가정 하에 식(12)를 정리하여 식(7)을 n번째 샘플링에 대하여 표현하면 식(13)과 같이 된다.

$$\bar{v}_L^{(p)}[n] - \frac{1}{2\omega} \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \bar{v}_L^{(p)}[n] \approx \bar{v}_L^{n(p)}[n] + \frac{\bar{v}_L^{n(p)}[n] - \bar{v}_L^{n(p)}[n-1]}{2} \quad (13)$$



(a) 정상분기준 동기좌표계에서 정상분과 역상분 벡터



(b) 역상분기준 동기좌표계에서 정상분과 역상분 벡터.

그림 4 정/역상분 기준 동기좌표계

Fig. 4 positive/negative sequence SRF

식 (13)의 우측항에서 알 수 있듯이 정상분의 직류성분 뿐만 아니라 120[Hz]의 맥동성분도 남게 됨을 알 수 있다. 이런 맥동성분을 없애기 위해서 $\vec{v}_L^{p(p)}[n]$ 와 $\vec{v}_L^{p(p)}[n-1]$ 의 크기는 일정하다는 3.1절의 가정 하에서 식(13)은 식(14)와 같이 수정된다.

$$\frac{\vec{v}_L^{p(p)}[n] + \vec{v}_L^{p(p)}[n-1]}{2} - \frac{1}{2\omega} \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \vec{v}_L^{p(p)}[n] \approx \vec{v}_L^{p(p)}[n] \quad (14)$$

식(14)에서 $\vec{v}_L^{p(p)}[n]$ 을 $\vec{v}_L^{p(p)}[n]$ 와 $\vec{v}_L^{p(p)}[n-1]$ 의 평균값으로 대체하더라도 정상성분은 변하지 않고, 식(13)의 120[Hz] 맥동성분을 제거할 수 있음을 알 수 있다.

직류의 역상분만을 검출하는 방법도 위와 동일한 방법으로 수행된다. 식(4)를 n제 샘플링 값에 대해 간단히 표현하면 식 (15)와 같다.

$$\vec{v}_L^{n(n)}[n] = \vec{v}_L^{n(n)}[n] + \vec{v}_L^{n(n)}[n] \quad (15)$$

식(15)에서 위 첨자 (n)은 역상분기준 동기좌표계임을 나타낸다. 이것을 시간에 대해 미분하면 식(16)과 같이 된다.

$$\frac{\vec{v}_L^{n(n)}[n] - \vec{v}_L^{n(n)}[n-1]}{T_{smp}} = -\frac{\tan(\omega T_{smp})}{T_{smp}} R\left(\frac{\pi}{2}\right) (\vec{v}_L^{n(n)}[n] + \vec{v}_L^{n(n)}[n-1]) \quad (16)$$

그리고 식(8)은 식(15)와 식(16)을 이용하고, $\vec{v}_L^{n(n)}[n]$ 대신 $\vec{v}_L^{n(n)}[n]$ 와 $\vec{v}_L^{n(n)}[n-1]$ 의 평균값을 써서 표현하면 식 (17)과 같이 된다.

$$\frac{\vec{v}_L^{n(n)}[n] + \vec{v}_L^{n(n)}[n-1]}{2} + \frac{1}{2\omega} \cdot R\left(\frac{\pi}{2}\right) \vec{v}_L^{n(n)}[n] \approx \vec{v}_L^{n(n)}[n] \quad (17)$$

그림 4는 각각의 동기좌표계에서 n번째와 n-1번째 벡터를 빼는 과정을 나타내는 벡터도이다. 그림4(a)의 정상분기준 동기좌표계에서 정상분은 정지한 벡터이므로 n번째와 n-1번째 벡터가 같은 벡터이고, 역상분의 n번째 벡터는 n-1번째 벡터가 시계방향으로 $2\omega T_{smp}$ 만큼 회전한 벡터이다. 그림4(b)의 역상분기준 동기좌표계에서는 역상분이 정지한 벡터이고, n번째 정상분 벡터는 n-1번째 벡터가 반시계방향으로 $2\omega T_{smp}$ 만큼 회전한 벡터이다. 지금까지 논의에서 정상분과 역상분의 크기는 일정하다고 가정하였다. 그러나 사고발생시 과도상태에는 정상분과 역상분의 크기는 변하게 되고, 이것을 미분할 경우 오차가 발생하게 된다. 또한 정상상태에서도 식 (14)과 (17)은 근사치이고 실제로는 작은 맥동이 나타나므로, 이런 노이즈와 과도상태시 오차를 제거하기 위한 저대역 필터가 필요하다. 그러나 이 노이즈 필터는 큰 컷오프 주파수를 가지므로 시스템에는 큰 영향을 미치지 않는다.

4. 시뮬레이션 결과

제안된 시스템의 제어기를 MATLAB으로 모델링 하였으며 부하에서 필요로 하는 기준전압을 220[V]로 설정하여 전원전압에 순간전압강하가 발생하였을 경우 제어기가 부하에서 요구하는 정상성분과 역상성분의 전압을 적절히 검출하여 동적 순간전압 보상기가 보상전압을 공급하는지를 확인하였다. 시스템파라미터는 표 1의 실험파라미터와 동일하게 사용되었다. 그림 5는 시뮬레이션 파형을 보여주고 있다. 그림 5(a)는 전원전압에 30%의 불평형이 발생된 것을 나타내는 파형이다. 그림 5(b)와 그림 5(c)는 정상분과 역상분기준 동기좌표계에서 전원전압을 각각 나타내는 파형이다. 그림 5(c)에서 알 수 있듯이 큰 정상분으로 인해 큰 제 2조파 성분이 있는 것을 볼 수 있다. 그림 5(d)와 그림 5(e)는 제안된 방법의 미분기와 노이즈필터를 통해 정상분과 역상분을 동기좌표계에서 분리한 파형이고, 120[Hz]성분은 거의 존재하지 않고 직류성분으로 분리됨을 알 수 있다. 동적 순간전압 보상기는 전압의 변동에 민감한 부하의 보호를 목적으로 하기 때문에 빠른 보상속도가 요구되어 지고, 미분기와 노이즈필터의 과도 특성은 전압제어기의 응답특성에 직접적인 영향을 미치므로 중요한 요소가 된다. 그림 5(d)와 그림 5(e)의 시뮬레이션 파형에서는 과도상태가 반주기 이하이지만, 이것은 노이즈필터에서 설정된 컷오프 주파수에 의존한다. 본 논문의 시뮬레이션과 실험에서는 60[Hz]로 설정하였다. 그림 5(f)는 제어가 수행될 시 동적 순간전압 보상기의 출력파형을 나타내고 이것의 과도상태도 반주기 이내이다. 이것이 전원전압과 가산된 전압이 그림 5(g)와 같은 부하전압이 된다. 여기에서 부하전압은 사고 이전의 전압과 크기와 위상에서 동일하게 반주기 이내의 과도상태를 가지고 제어됨을 알 수 있다.

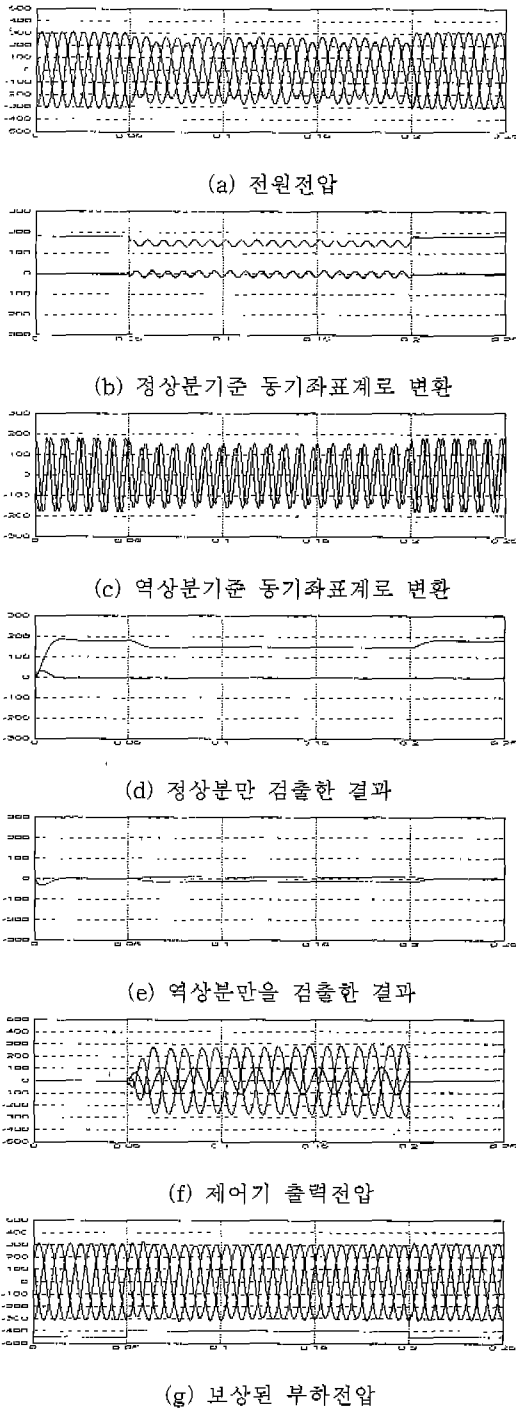


그림 5 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results

5. 실험 결과

그림 6은 본 실험에 사용된 2.5kW의 동적 순간전압 보상기의 내부를 나타낸 것으로 크게 변압기부, 정류부, 인버터부로 구분된다. 변압기는 계통과 동적 순간전압 보상기를 직렬로 연결하였고, 누설 인덕턴스가 최소가 되게 설계하였다. 정

표 1. 실험회로 정수
Table. 1 Parameters

전원전압 ($V_{L-L, rms}$)	220[V]
전원주파수	60[Hz]
DC Link 커패시터	2200[μ F]
직렬인버터 스위칭 주파수	5000[Hz]
인버터 출력 필터 L	7.5[mH]
인버터 출력 필터 C	15[μ F]

류부는 3상 3권선 변압기를 사용하여 정류기를 통해 인버터의 DC-bank에 저장되며 인버터는 단상 인버터로 불평형전압을 보상할 수 있게 되어 있다. 표 1에는 사용된 동적 순간전압 보상기의 회로정수를 나타내었다. 그림 7은 실험파형을 보여준다. 그림 7(a)는 사고모의 장치가 동작하여 전원전압에 불평형이 발생하여 부하전압(V_{ab})이 순간적으로 감소하는 것을 나타낸 것이다. 그림 7(b)와 그림 7(c)는 전원전압을 정상분기준과 역상분기준 동기좌표계로 변환한 파형인데 시뮬레이션 결과와 거의 유사함을 알 수 있다. 그림 7(d)와 그림 7(e)는 정상분과 역상분을 제안된 제어 방법으로 검출하였을 경우인데, 실험에서도 잘 수행됨을 알 수 있다. 그림 7(f)는 동적 순간전압 보상기가 보상하고 있는 전압이고, 그림 7(g)는 전원전압에 사고가 발생하여 동적 순간전압 보상기가 전압보상을 하였을 경우의 부하전압을 나타낸 것으로 제어기 내부의 비례이득(K_p)을 2로 적분이득(K_i)을 0.02로 하였을 경우이다. 제어기의 이득은 시뮬레이션과 실험을 통해 설정하였다. 전원전압이 사고가 발생하여 동적 순간전압 보상기가 동작하는 구간은 그림 7(g)의 하단부에 있는 이상전압 검출 신호가 활성화되는 구간이다. 그림 8은 그림 9(g)의 파형을 확대한 파형이고, 고장이 발생한 후 2ms 이내에 고장을 인식하여 보상을 시작하며 부하에는 전원전압에 이상이 발생하여도 반주기 이내에 부하에서 필요로 하는 일정전압이 공급되어 지고 있음을 보여주고 있다.

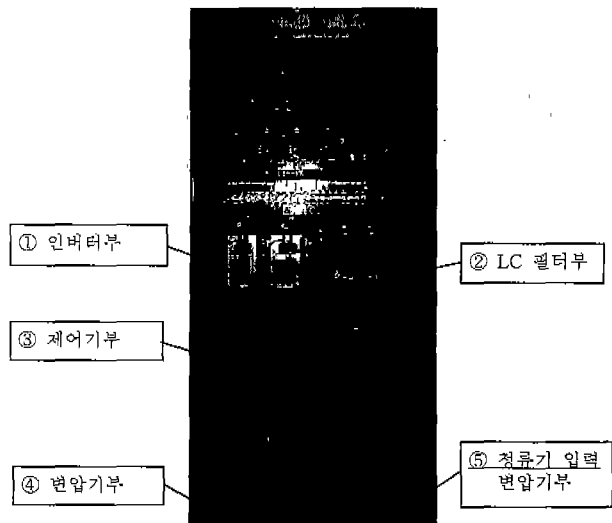


그림 6 2.5kW급 DVR시스템
Fig. 6 2.5kW rating DVR system

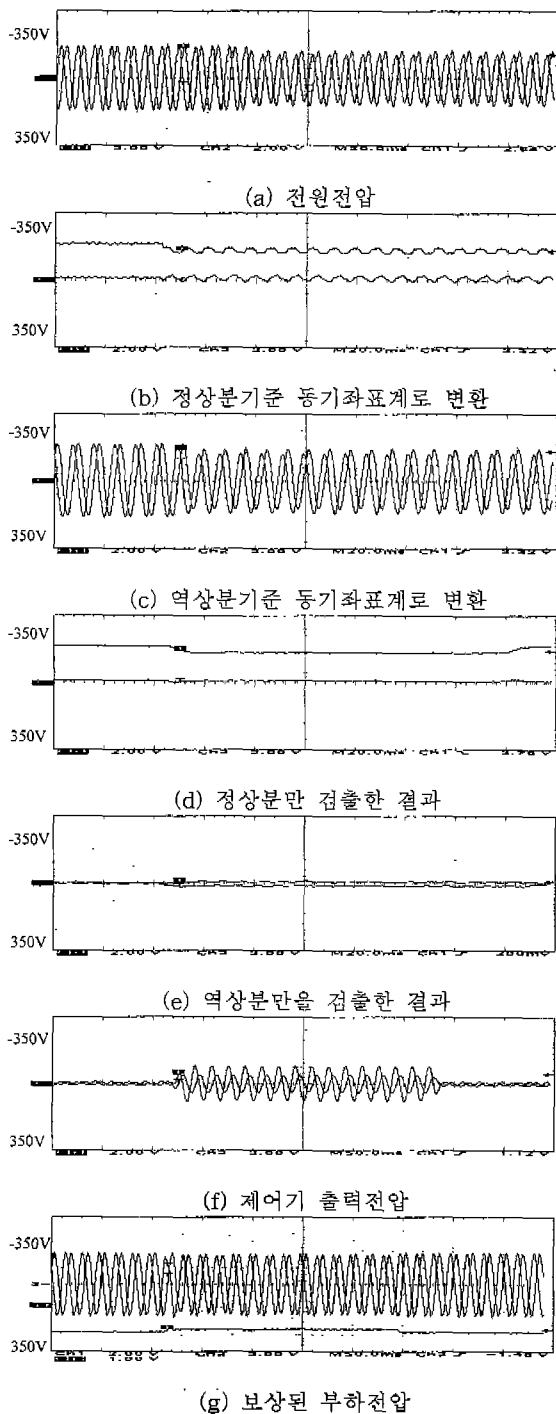


그림 7 실험 결과
Fig. 7 Experimental results

6. 결 론

본 논문에서는 송전선로 등의 사고에 의해 발생하는 불평형 전원전압을 연속적으로 보상하는 DVR제어기를 제안하고 그 동작원리와 제어방식을 분석, 확인하였다. Matlab을 이용하여 시스템의 동작과 성능을 확인하였고 또한 하드웨어구현의 타당성을 확인하였다. 시뮬레이션결과를 비교 검증하기 위해 직력 단상 인버터 3개로 구성된 DVR, 사고모의 장치,

그리고 부하 등의 실험장비를 이용하여 축소모형을 제작하고 실험을 실시하여 제안하는 DVR 제어기가 계통의 전압에 순간전압강하와 같은 외란을 보상 할 수 있음을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, and M. J. Samotyj, "Voltage Sags in Industrial System," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.29, pp.397-403, Mar./Apr. 1993.
- [2] M.H. J. Bollen, "Voltage Sags: Effects, Mitigation and Prediction," Power Engineering Journal, pp.129-134, June, 1996.
- [3] 한병문 외 3, "직. 병렬 인버터를 이용한 동적전압보상기," 전기학회논문지 48권 11호, 11월, 1999.
- [4] N. H. Woodley, L.Morgan, A. Sundaram, "Experience with An inverter-Based Dynamic Voltage Restorer," IEEE Trans. On Power Delivery, vol.14, no.3, pp.1181-1186, July 1999.
- [5] Ming Fang, Gardiner A.I, MacDougall A., Mathieson G.A., "A Novel Series Dynamic Voltage Restorer for Distribution Systems," Proceedings of POWERCON98, Beijing, pp. 38-42, Aug. 1998.
- [6] Toni Wunderlin, David Amhof, Peter Dahler, Horst Gruning, "Power Supply Quality Improvement with a Dynamic Voltage Restorer(DVR)," Proc. of EMPD98, pp. 518-525, Mar. 3-5, Singapore, 1998.
- [7] 한병문 외 2, "순간전압강하에 대한 동적전압보상기," 전기학회논문지 47권 8호, 8월, 1998.
- [8] Cheng, Po-Tai, "Dynamic series voltage restoration for sensitive loads in unbalanced power systems," US Patent 5,883,796 March 16, 1999.
- [9] Kevork Haddad, Geza Joos, "A Fast Algorithm for Voltage Unbalance Compensation and Regulation in Faulted Distribution System," APEC conference. pp.963-969, 1998.
- [10] Alexandre Campos, Geza Joos, "Analysis and Design of a Series Voltage Unbalance Compensator Based on a Three-Phase VSI Operating With Unbalanced Switching Function," IEEE Trans. Power Elec. vol.9, no.3, pp.269-274, May 1994.
- [11] Geza joos, "Threc-Phase Static Series Regulator Control Algorithms for Dynamic Sag Compensation," ISIE99 Bldc, Slovenia pp.515-520, 1999
- [12] K. Haddad and G. Joos, "Distribution System Voltage Regulation Under Fault Conditions Using Static Series Regulators," IEEE Ind. Appl. IAS97 Conf. Rec., New Orleans, pp. 1383-1389. Oct. 1997.
- [13] 김제홍, 최재호, "무정전 전원장치용 디지털 위상동기화 기법," 조명.전기설비학회지, vol.11, no.3, pp.106-113, 1997.

저 자 소 개



정 홍 주 (鄭 泓 柱)

1972년 5월 5일생. 1998년 2월 광운대학교 전기공학과 졸업(학사). 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 (주)효성 중공업연구소 연구원
전화 : 02-707-4382

E-mail : seaworld@hyosung.com



최 시 영 (崔 時 榮)

1973년 6월 11일생. 1999년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 (주)효성 중공업연구소 연구원.
전화 : 02-707-4384

E-mail : sychoi@hyosung.com



정 준 모 (鄭 準 模)

1969년 9월 3일생. 1993년 홍익대학교 전기제어공학과 졸업(학사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 (주)효성 중공업연구소 책임연구원.
전화 : 02-707-4386

E-mail : jmchung@hyosung.com



송 증 환 (宋 鍾 煥)

1958년 7월 17일생. 1982년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(박사). 1984년~현재 (주)효성 중공업연구소 책임연구원.
전화 : 02-707-4380

E-mail : songjw@hyosung.com