이중 차 전압을 이용한 전압 새그 검출 기법에 관한 연구

(The Study on Detecting Scheme of Voltage Sag using the Two Difference Voltage)

이우철*

(Woo-Cheol Lee)

Abstract

In this paper, the detection scheme of the voltage variation using a two difference voltage is proposed. The conventional sag detector is from a single-phase digital phase-locked loop (DPLL) that is based on a d-q transformation using an all-pass filter (APF). The APF generates a virtual q-axis voltage component with 90° phase delay but the APF cannot generate the virtual q-axis voltage depending on the phase of the grid voltage. To overcome the problem, q-axis voltage component is generated from difference between the current and previous value of d-axis voltage component in the stationary reference frame. However, the difference voltage around the zero crossing is not enough to detect the voltage sag. Therefore, the new detection scheme using the two difference voltage which can detect the sag around the zero crossing voltage is proposed.

Key Words : All-Pass Filter(APF), Two Difference Voltage, Zero Crossing Voltage

1. 서 론

산업 전반에 걸쳐 민감한 자동화기기의 보급으로 인 하여 정확한 전압 제어와 전압 안정도에 대한 중요성 이 점차적으로 증대되어 왔다. 민감한 부하들은 계통 에서의 전력 품질에 중대한 영향을 받고, 그중에서 전

```
* 주저자 : 한경대학교 전기전자제어공학과 IT
융합연구소
* Main author : Hankyong National University Dept.
of Electrical Electronic & Control
Engineering Professor, Institute for
information technology convergence
Tel : 031-670-5323, Fax : 031-670-5329
E-mail : woocheol@hknu.ac.kr
접수일자 : 2014년 8월 20일
1차심사 : 2014년 8월 22일
심사완료 : 2014년 10월 24일
```

조명·전기설비학회논문지 제28권 제12호, 2014년 12월 Copyright ⓒ 2014 KIIEE All right's reserved 압 강하 및 상승을 포함한 전압 변동은 계통에서 가장 빈번하게 발생되는 전력 품질 문제 중에 하나이다. 이 들 영향으로 인해 전원 장비들은 중대한 영향을 받게 된다[1-4]. 신재생 에너지를 이용한 전력 생산의 증가 는 계통 전압에서 전압의 불안정성의 주요한 원인이 된다. 따라서 전원계통에 문제가 발생 시 계통 전압의 크기와 위상을 검출하는 것이 주요 쟁점이 돼 왔다. 종래의 대부분의 전압 검출 밥법은 검출 시 시지연이 발생된다. root mean square (RMS) 방법은 2-9ms의 시지연이 발생되고[5], 하이브리드 Kalman Filter RMS(KF-RMS) 방법은 0.5-4ms의 시지연이 발생된 다[5]. 그리고 dynamic voltage restorer (DVR)은 2ms 의 시지연이 발생된다[6]. 최근에 제안된 Modified all pass filter(APF) 방법은 계통 전압의 정지좌표변환



후의 현재 /이전 전압의 차이를 통하여 검출하는 방법 의 경우로 이 방법의 단점은 0 전압 근처에서 전압 강 하가 발생되었을 때 검출을 못하는 문제점이 발생된 다[7-8]. 따라서 본 연구에서는 0 전압 근처에서 뿐만 아니라 전원전압의 변동을 검출할 수 있는 이중 차 전 압을 이용한 새로운 기법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

그림 1은 순간전압강하 시스템에 대한 구성도를 보 여준다. 전원 전압이 정상 범위 내에 있을 때 스테틱 바이패스 스위치는 턴 온되어 능동필터 모드로 동작 을 하고 전원 전압이 정상 범위를 벗어났을 경우는 Static Bypass S/W는 턴 오프가 되어 uninterruptible power supply (UPS) 모드로 동작을 한다[9-10]. 무순 단 모두 절체를 위하여 insulated-gate bipolar transistor(IGBT)와 다이오드로 Static Bypass S/W 를 구성한다. 그러나 전원전압이 문제가 발생 시 제대 로 검출이 안 된다면 무순단 모두 절체는 이루어지지 않아서 전압 변동을 검출할 수 있는 새로운 검출기법 을 제안한다. 이 기법은 또한 정전압 제어를 하는 UPS에서 단독으로도 사용이 가능하다.



- 그림 1. 순간 전압 강하 보상 시스템 Fig. 1. Instantaneous voltage compensation system
 - 본 논문에 사용된 기호는 다음과 같이 정리가 된다. V_g, I_g : 전원전압, 전류

- V_o, I_d: 출력전압, 부하전류
- $V_{gq}^{s}, V_{gq}^{s}, V_{oq}^{s}; V_{oq}^{s}; 정지좌표계에서의 d축, q축 전원/

 출력전압$
- $V_{gd}^e, V_{gq}^e, V_{od}^e, V_{oq}^e$: 회전좌표계에서의 d축, q축 전원/

 출력전압
- $V_{gd-fit}^e, V_{gq-fit}^e$: 회전좌표계에서의 필터링된 d축,

 q축 전원/출력전압
- V^{*}_{grms}: 전원 전압 지렁치(실효값)
- K_n, K_i: PLL PI 게인
- △ V^s_{gd}, △ V^s_{gq}: d축, q축 전원전압의 현재 값과 이전 값 1차 차 전압
- $(\Delta V_{gd}^{s})_{peak}$: 전원전압의 1차 차 전압 피크 값 $\Delta (\Delta V_{gd}^{s}), \Delta (\Delta V_{ga}^{s})$: 전원전압의 2차 차 전압
- $\Delta(\Delta V^s_{gdg})_{veak}$: 전원전압의 2차 차 전압 피크 값

그림 2는 종전의 새그 검출기 및 digital phase lock logic (DPLL)의 블록도를 보여준다. V_{gd}^{s} 는 d축 성분 으로 전원전압과 크기는 같고, 위상만 반대이다. V_{gq}^{s} 는 허수 측 q축 성분으로 전원 전압을 이용한 APF로 부터 생성된 값이다.



그림 2. 종래의 새그 검출기 및 디지털 PLL Fig. 2. Conventional sag detector and digital phase-locked-loop

허수축 성분인 V_{gq}^{s} 는 전원 전압으로부터 $V_{gd}^{s} = -V_{g}$ 와 APF를 이용하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$V_{gd}^s(t) = -V_g(t) \tag{1}$$

Journal of KIIEE, Vol.28, No.12, December 2014



$$V_{gq}^{s}(t) = -k \cdot V_{gq}^{s}(t-1) + k \cdot V_{gd}^{s}(t) + V_{gd}^{s}(t-1)$$
(2)
$$k = \frac{T_{samp} \cdot w - 2}{T_{samp} \cdot w + 2}$$

여기서 T_{samp} 는 샘플링 타임, $w = 2\pi f$ 이다.

동기 좌표계를 이용하여 전원 전압의 실효치 값을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$V_{grms} = \sqrt{\frac{(V_{gd}^{e})^{2} + (V_{gq}^{e})^{2}}{2}}$$
(3)

$$V_{grms-err} = V_{grms-err} - V_{grms}^* \tag{4}$$

V_{grms-err}가 전원전압의 절대치 값의 15%가 넘으면 전원전압 새그가 검출이 된다. 그러나 APF에 의해서 발생된 허수 측 q축 전압이 제대로 발생이 안 되는 경 우가 발생되어 새그를 검출하는 데는 시지연이 발생 된다. 다음 그림은 정상적, 비정상적인 허수 측 q축 전 압이 발생되는 상태를 보여준다.

그림 3은 새그 발생 시 전 영역에서 APF 특성을 보 여준다. 그림 3 (a)는 전원 위상이 0°에서 90°, 180°에 서 270° 사이에서 새그 발생 시 허수축 성분은 제대로 생성이 되어 전압 강하가 발생이 된다. 즉 전원 전압 과 허수측 전압의 위상이 다를 경우 전압 강하가 발생 되면 올바르게 동작이 된다.

그러나 그림 3 (b)에서 처럼 전원 위상이 90°에서 180°, 270°에서 360° 사이에서 새그 발생 시 허수축 성 분은 제대로 생성이 안 되어 오히려 전압 상승이 발생 이 된다. 즉 전원 전압과 허수 측 전압의 위상이 같을 경우 전압 강하가 발생되면 정상적인 동작이 안 된다.

2.2 종전의 Modified APF 방식

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 Modified APF 방식이 제안이 되었는데 이 방법은 전원 전압의 변동 을 검출하는 방식이다. d축 전압 성분은 전원 전압의 현재 값과 이전 값의 차에 의해서 생성이 되고, 허수 측 q축 성분도 똑같은 방법으로 생성이 된다. 그림 4 는 전압의 현재 값과 이전 값의 차이를 이용하여 새그 를 검출하는 종전의 방식을 보여준다.





그림 3. APF 특성 (a) 정상 상태(0°-90°,180°-270°) (b) 비 정상 상태(90°-180°,270°-360°) Fig. 3. APF characteristics



- 그림 4. 종전의 현재 값 과 이전 값 차이 연산을 이용한 기존의 Sag검출방법
- Fig. 4. Conventional sag detection scheme using the difference between current and previous value of the voltage

$$\Delta V_{gd}^{s} = V_{gd}^{s}(t) - V_{gd}^{s}(t-1)$$

$$= -A\sqrt{2}\cos(wt-\alpha) \cong -A\sqrt{2}\coswt$$

$$\Delta V_{gq}^{s} = V_{gq}^{s}(t) - V_{gq}^{s}(t-1)$$

$$= -A\sqrt{2}\sin(wt-\alpha) \cong -A\sqrt{2}sinwt$$

$$\stackrel{\text{cd}}{=} 7[\lambda^{t}] \alpha = 2\pi f \cdot T_{samp} \cdot 0.5, A = V_{g} \cdot \sin\alpha \cdot 2$$
(5)

 $V_{gd}^{s}(t-1), V_{gq}^{s}(t-1)$ 는 정지 좌표계에서 전원전압의 d축 성분, q축 성분의 한 단계 이전 전압 값을 나타낸 다. 차 전압 ΔV_{gd}^{s} 는 $-A\sqrt{2} coswt$ 와 같은 값이며, 크 기는 실제 전압 값보다 상당히 작게 된다. 이를 이용 한 전원전압의 피크치 값 $(\Delta V_{gdq}^{s})_{peak}$ 는 정상상태에서 다음과 같이 계산이 된다.

$$(\Delta V_{gdq}^{s})_{peak} = \sqrt{(\Delta V_{gd}^{s})^{2} + (\Delta V_{gq}^{s})^{2}} = A\sqrt{2}$$
(7)



그림 5. 전압 강하에 따른 전원 전압의 새그 검출 범위 (a) *T_{samp}=*100µs (b) *T_{samp}=*200µs Fig. 5. Sag detection range of the source voltage depending on the voltage sag

△ V_{gd}^{s} 는 (△ $V_{gdq}^{s})_{peak}$ 와 비교되어 만약 |△ V_{gd}^{s}]> (△ $V_{gdq}^{s})_{peak}$ 인 경우 새그가 발생된 것으로 판단한다. 그러나 그림 5와 표 1에서 보여 주듯이 새그가 전원 전압의 0점 근방에서 발생이 되면 전압 변동량이 너무 작아서 새그 검출을 못하는 경우가 발생된다. 이는 전 원 전압의 특성이 정현파 형태이기 때문에 발생되는 현상이다. 예를 들어 T_{samp} = 100µs인 경우 10%의 새 그가 발생해도 전원전압의 위상 ±22.1°이내에서 발생된 경우 검출이 안 된다. 50%의 새그인 경우는 ±4.3°이내에서 발생되었다면 검출이 안 된다. 만약 T_{samp} = 200µs인 경우 새그가 검출되지 않는 범위는 2배가 늘어나게 된다.

표 1. Tsamp에 따른 새그 검출 못하는 범위 Table 1. Non detecting range of sag depending on Tsamp

전압 강하	Tsamp=100µs	Tsamp=200µs
10% Sag	±22.1°(1.03ms)	±48.9°(2.27ms)
20% Sag	±10.9°(503µs)	±21.2°(1.03ms)
30% Sag	±7.2°(334µs)	±14.6°(674µs)
40% Sag	±5.4°(251µs)	±10.9°(503µs)
50% Sag	±4.3°(200µs)	±8.7°(402µs)

2.3 새그 검출 방법의 제안



그림 6. 제안된 새그 검출 방법 Fig. 6. Proposed sag detection method

Journal of KIIEE, Vol.28, No.12, December 2014

그림 6은 제안하는 새그 검출 방법을 보여준다. 차 전압의 1차 성분인 △ V_{gd}^s 와 △ V_{gq}^s 는 V_{gd}^s 와 V_{gq}^s 값의 현 재 값과 이전 값의 차로 구할 수 있다. 식 (5)와 (6)과 마찬가지로 차 전압의 2차 성분은 다음과 같이 얻어 질수가 있다.

$$\Delta\left(\Delta V_{gd}^{s}(t)\right) = \Delta V_{gd}^{s}(t) - \Delta V_{gd}^{s}(t-1) \tag{8}$$

$$= B\sqrt{2}\sin(wt - \alpha) \cong -B\sqrt{2}sinwt$$

$$\Delta(\Delta V_{gq}^{s}(t)) = \Delta V_{gq}^{s}(t) - \Delta V_{gq}^{s}(t-1)$$
(9)

 $= B\sqrt{2}\cos\left(wt - \alpha\right) \cong - B\sqrt{2}\cos wt$

여기서
$$\alpha = 2\pi f \cdot T_{samp} \cdot 0.5, B = A \cdot 2\alpha$$

2차 차 전압의 피크치인 △(△ $V_{gdq}^{s})_{peak}$ 값은 전원전 압이 정상인 상태에서 매시간 마다 갱신되어 전압 검 출의 정확성을 높인다. 이때의 피크 값은 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta \left(\Delta V_{gdq}^{s}\right)_{peak} = \sqrt{\Delta \left(\Delta V_{gd}^{s}\right)^{2} + \Delta \left(\Delta V_{gq}^{s}\right)^{2}} = B\sqrt{2} \quad (10)$$

△(△V^s_{gdq})_{peak} 값은 △(△V^s_{gd}) 값과 비교된다. 즉 만약 △(△V^s_{gd}) 값이 ±△(△V^s_{gdq})_{peak} 값의 범위 내에 있으면 전원전압은 정상이고 △(△V^s_{gd}) 값이 ±△(△V^s_{gdq})_{peak} 값 보다 크게 되면 전원 전압 이상으로 판단된다. 또 한 매 샘플링 시간 때마다 차 전압이 검출이 되어 정 상 값과 비교가 된다. 따라서 새그 검출 시간은 샘플 링 시간에 의하여 결정이 된다. 전원 전압이 이상이 판단된 후 전원전압의 피크치 값 연산은 추후 연구될 예정이다.

3. 시뮬레이션 결과

제안된 알고리즘은 시뮬레이션 툴인 PSIM (Powersim Inc.)를 이용하여 수행하였다. 시뮬레 이션과 실험에 사용된 시스템 파라메터는 표 2와 같다.

Parameters	Value
전원전압(Vg)	208V, 60Hz
새그 전원 전압	104V, 60Hz
스위칭 주파수	10kHz

그림 7은 특정 위상에서 전원 전압이 강하/상승 시 APF 특성을 보여준다. 전원 전압 V_{gd}^{s} 는 실제 전원전 압 Vg의 180° 위상차가 나는 값이다. 그림 7 (a)에서 보여 주듯이 전원 전압 강하/상승이 0°에서 90°(180° 에서 270°) 발생한 경우 APF는 올바른 허수 축 전압 을 발생한다. 즉 전원 전압과 허수 측 전압의 위상이 다를 경우 올바르게 동작이 된다. 그러나 그림 7 (b)에 서 처럼 전원 위상이 90°에서 180°(270°에서 360°) 사 이에서 새그 발생 시 허수축 성분은 제대로 생성이 안 되어 오히려 전압 상승이 발생이 된다. 즉 전원 전압 과 허수 측 전압의 위상이 같을 경우는 정상적인 동작 이 안 된다.

그림 8은 종전이 d-q 변환 방식을 사용하여 전압 위 상이 60°에서 50%의 전압 강하와 복귀시 전원 전압 파형을 보여준다. 그림 8 (a)에서 V_{gd}^{s} 전원전압에서 온 값이며, 90° 지연된 허수 측 파형 V^s_{ga}은 APF에서 생성된 값이다. V^s_{gd}가 60°에서 새그가 발생/복귀 시 V^s_{ga} 값은 올바른 새그 전압 값을 반영한다. 즉 전원 전 압이 위상 60°에서 50%의 새그가 발생 시 허수 측 전 압 Vg 역시 감소한다. 그림 8 (b)는 새그 전압 검출 레 벨을 보여준다. 전원 전압이 정상 실효치 전압의 15% 까지 저하 시 새그는 검출된다. 그림 8 (c)는 식 (3). (4)에서 계산된 전원 전압의 실효치값을 보여준다. 그 림 8 (d)는 정전 검출 신호를 보여준다. 올바른 허수 측 전압으로 인하여 새그 전압은 정상적으로 검출된 다. 검출 시간은 샐플링 시간에 의해서 결정된다. 정전 검출 신호는 정상 상태시는 0를 나타내며 이상 시 1을 나타낸다.

그림 9는 종전의 d-q 변환 방식을 사용하여 전압 위 상이 310°에서 50%의 전압 강하와 복귀시 전원 전압 파형을 보여준다. 그림 9 (a)에서 V^s_{gd}가 310°에서 새그





가 발생/복귀 시 V_{gq}^{s} 값은 비 정상적인 새그 전압 값을 반영한다. 즉 전원 전압이 위상 310°에서 50%의 새그 가 발생 시 허수 측 전압 V_{gq}^{s} 은 오히려 증가한다. 따라 서 전원전압의 실효치를 계산하는데 시간을 걸릴 수 밖에 없다. 따라서 그림 9 (d)에서 처럼 전원 이상을 검출하는데 약 1.6msec의 시 지연이 발생이 된다.

고림 10은 현재 값과 이전 값의 차 전압이 사용 시 위상 60°에서 새그 검출 특성을 나타낸다. △ V^s_{gd},(△ V^s_{gdq})_{peak},△(△ V^s_{gd}),△(△ V^s_{gdq})_{peak} 값은 식 (5), (7), (8), (10)에서 구할 수 있다. 그림 10 (a)는 새그 검 출 특성을 보여주는 것으로 정지 좌표계에서 d축 전압



- 그림 8. 종전의 APF에서 전원 위상 60°에서 50% 전압 강하/상승시 전원전압 (a) 정지좌표계에서 V_{gd}^{s}, V_{gq}^{s} (b) 새그 검출 레벨 (c) 검출된 전원전압 rms (d) 정전 검출 신호
- Fig. 8. 50% sagged/returned grid voltage for the conventional method at 60°



- 그림 9. 종전의 APF에서 전원 위상 310°에서 50% 전압 강하/복귀시 전원전압 (a) 정지좌표계에서 V_{gd}^{s}, V_{gq}^{s} (b) 새그 검출 레벨 (c) 검출된 전원전압 rms (d) 정전 검출 신호
- Fig. 9. 50% sagged/returned grid voltage for the conventional method at 310°
- 성분의 현재 값과 이전 값을 사용하였을 경우이다. d축 전압 성분 V^a_{ad}는 전원 전압 -V_a값과 같다.

△ V^s_{gd} 값은 (△ V^s_{gdq})_{peak} 값과 비교가 된다. 즉 |△ V^s_{gd}|>(△ V^s_{gdq})_{peak} 인 경우 그림 10 (b)에서처럼 새 그는 발생된 것을 보여준다. 그림 10 (c)는 제안된 방 식으로 결과는 기존의 방식과 거의 동일하다.

Journal of KIIEE, Vol.28, No.12, December 2014



- 그림 10. 현재 값과 이전 값의 차 전압이 사용 시 위상 60°에서 새그 전압 검출 특성 (a) 정지 좌표계에서 V_{gd}^{s}, V_{gq-n}^{s} (b) 차전압 ΔV_{gd}^{s} 과 피크 전압(ΔV_{gdq}^{s})_{peak}(c) 차전압 $\Delta (\Delta V_{gd}^{s})$ 과 피크 전압 $\Delta (\Delta V_{gdq}^{s})_{peak}$
- Fig. 10. Voltage sag detection characteristic around 60° when the difference voltage between the current and previous values is used



- 그림 11. 현재 값과 이전 값의 차 전압이 사용 시 위상 0°에서 새그 전압 검출 특성 (a) 정지 좌표계에서 V_{gd}^{s}, V_{gq-n}^{s} (b) 차 전압 ΔV_{gd}^{s} 과 피크 전압 $(\Delta V_{gdq}^{s})_{peak}$ (c) 차 전압 $\Delta (\Delta V_{gd}^{s})$ 과 피크 전압 $\Delta (\Delta V_{gdq}^{s})_{peak}$
- Fig. 11. Voltage sag detection characteristic around 0° when the difference voltage between the current and previous values is used

그림 11은 현재 값과 이전 값의 차 전압이 사용 시 위상 0°에서 새그 검출 특성을 나타낸다. 기존의 방식 인 그림 11 (b)에서는 새그가 검출이 안 되었다. 이는 현재 값과 이전 값의 차 전압이 피크 전압 레벨인 (△V^s_{gdq})_{peak}값을 초과하지 안했기 때문이다. 이유로는 0점 부근의 전원 전압에서의 차 전압은 너무 작기 때 문이다. 그러나 제안된 방식은 그림 11 (c)의 경우는 새그가 검출이 되었다.

4. 실험 결과

실험파형의 경우 입력 그리드 전압은 207 V_{rms}으로 사용하였으며 Sag 전압은 그리드 전압의 50%로 선정 하여서 실험하였다. 그림 12는 전원 전압으로부터 구 해진 성분들을 보여준다. d축 전압 성분(V^s_{gd})과 Q축 전압 성분(V^s_{gq})이 다소 왜곡되었고 차 전압 성분들은 상당히 많이 왜곡되었다. 이는 실험실 전원 전압 파형 에 고조파 성분이 포함되 있음에 기인한다. 시뮬레이 션 파형에서는 전원 전압 파형이 순수 정현파이라서 차 전압들도 정현파 모양이 된다.



그림 12. 전원 전압의 실험 파형 Ch1. V_{gd}^s : 전원 전압 (100V/div), Ch2. V_{gq}^s : 허수축 전압(100V/div) Ch3 ΔV_{gd}^s : 종전의 차 전압(10V/div), Ch4. $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$:제안된 차 전압(1V/div) Fig. 12. Experimental results of the grid voltage

Ð

ט ומו מטופו ואווט

조명·전기설비학회논문지 제28권 제12호, 2014년 12월

그림 13은 기존의 차전압 △ V^s_{od} 와 제안된 차전압 △(△ V^s_{ed})를 비교하기 위하여 사용된 새그 검출 파형 을 보여준다. 새그는 전원 위상 0°에서 발생되었으며 그림 13 (b)는 그림 13 (a)의 파형인 전원전압, 1차 차 전압, 새그 신호에 1차 새그 검출 레벨을 추가한 파형 이며, 그림 13 (c)는 그림 13 (a)의 파형에서 2차 새그 검출 레벨 추가한 파형이다. 그림 13에서 새그 검출 신호는 2차 새그 검출 방식에 의하여 생성된 값이다. 각각에 1차 차 전압 피크 값, $(\Delta V_{gda}^s)_{peak}$, 와 2차 차 전압 피크 값, $\Delta(\Delta V_{gda}^s)_{veak}$, 을 추가로 표기하였다. 새그는 차 전압 ΔV_{gd}^s 와 $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$ 의 값이 각각의 차 전압 피크 값에 도달할 때 검출이 된다. 그러나 기존 의 방식인 그림 13 (b)의 경우는 △ V^s_{gd}의 변화량이 작 아서 1차 차전압 피크치에 도달을 못하여 새그를 검출 을 못하게 된다. 여기서의 새그 신호는 2차 차전압에 의하여 발생된 값이다. 그러나 제안된 방식인 그림 13 (c)의 경우는 △(△ V^s_{gd}) 값이 2차 차전압 피크 치에 도 달하여 새그 검출이 된다. 새그 신호 Ch4는 시스템이 새그를 인식할 때 출력된다. 정상 상태에서는 2V 값을 유지하고, 전원 전압에 문제가 생기면 새그 신호는 1V 로 변화하게 설정을 하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 단상 인버터 시스템에서 새그 검출 기법에 대하여 제안하였다. 기존의 전압 강하 검출 방 식은 APF를 이용한 d-q 변환을 이용한 디지털 PLL 방식에 기초를 두고 있다. 이와 같은 APF는 전원전압 과 90° 위상차를 갖는 가상의 전압을 만들어 내지만 이 전압은 전압강하가 위상(0°~90°, 180°~270°)에 발 생 시 전압 강하를 제대로 검출 못하는 구간이 존재를 한다. 그 결과 피크 전압 값은 왜곡이 발생되며 이로 인해 검출 지연이 발생할 수밖에 없다. 이와 같은 현 상을 극복하기 위하여 현재 전압 값과 이전 전압 값을 비교함으로써 전압 강하를 검출하는 변경된 APF 방 법이 제안되었으나 이 방법은 0점 부근의 전압 강하에 대해서는 이전 전압과 현재 전압과의 차가 적어서 검 출을 못하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에



그림 13. 새그 검출 방식의 비교 파형(ΔV_{gd}^s , $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$) Ch1. V_{gd}^s : 전원 전압 (100V/div), Ch2. ΔV_{gd}^s : 종전의 차 전압(10V/div), Ch3. $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$: 제안된 차 전압(2.5V/div), Ch4. 새그 지령 신호(2.5V/div) (a) ΔV_{gd}^s 와 $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$ 에서 얻은 새그 검출 파형 (b) ΔV_{gd}^s 에서 얻은 새그 검출 파형 (c) $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$ 에서 얻은 새그 검출 파형 Fig. 13. Comparison of sag detection waveforms obtained for ΔV_{gd}^s , $\Delta (\Delta V_{gd}^s)$ 서는 현재 값과 이전 값의 1차 차 전압 과 2차 차 전압

Journal of KIIEE, Vol.28, No.12, December 2014

을 사용하여 sag를 검출할 수 있는 새로운 기법을 제 안하였다. 제안된 알고리듬은 영점을 포함하여 전 영 역에서 새그 검출이 가능하다. 이는 시뮬레이션과 실 험으로 검증하였다. 추후 검출된 신호를 이용하여 정 확한 피크 전압 검출 알고리듬에 대하여 추가 연구가 진행될 예정이다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임 [No.2013R1A1A2064271].

References

- R. Naidoo, P. Pilay, "A New Method of Voltage Sag and Swell Detection," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 2, pp. 1056–1063, Apr. 2007.
- (2) N. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram, "Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer," IEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp.1181–1186, July. 1999.
- (3) W. Lee, D. Lee, T. Lee, "New Control Scheme for a Unified Power Quality Compensator-Q with Minimum Active Power Injection," IEE Trans. on Power Delivery, Vol. 25, No. 2, pp. 1068–1076, Apr. 2010.
- [4] J. G. Kim, Y. J. Park, I. J. Kim, "Characteristics Analysis of Power Capacitor at Sag & Swell", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No. 10, pp. 21–28, Oct. 2009.
- [5] N. Tuaboylu, E. Collins, P. Chaney, "Voltage Disturbance Evaluation Using the Missing Voltage Technique", Harmonics and Quality of Power, Vol. 1, pp. 577–582, 1998.

- [6] M. Gonzalez, V.Cardenas, R. Alvarez, "A Fast Detection Algorithm for Sags, Swells, and Interruptions Based on Digital RMS Calculation and Kalman Filtering," in Proc. Int. Power Electronics Congress, pp. 1–6, Oct. 2006.
- [7] Z. Yao, L Xiao, "Seamless transfer of single-phase grid-interactive inverters between grid-connected and stand-alone modes," IEE Trans. on Power Electronics, Vol. 25, No. 6, pp. 1597–1603, 2010.
- [8] Y. Silla, Y. Kum, "An Improvement in Synchronously Rotating Reference Frame-Based Voltage Sag Detection under Distorted Grid Voltages," Journal of Power Electronics, Vol. 8, No. 6, pp. 1283–1295, 2013.
- [9] S. Lee, K. Sung, T. Lee, W. Lee "UPS/APF power conversion equipment with a seamless mode transfer," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 2769–2776, May 2011.
- [10] Y. M. Seo, S. Y. Lee, S. C. Hong, "A Study on Boost Type Single-Phase Inverter System for Compensation of Voltage Sag", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 26, No. 12, pp. 62–67, Dec. 2012.

◇ 저자소개 ◇──



이우철(李雨哲)

1964년 3월 24일생. 1987년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1989년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업. 1988~1998년 효성중공업 기술연구소 책임연구원. 1995 ~2001년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2007~2009년 Virginia Po-

lytechnic Institute and State University USA Visiting Professor. 현재 한경대학교 전기전자제어공학과 교수. 2011년~현재 전력전자학회 학술위원.

