

# 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 위상 동기화를 위한 디지털 PLL 제어

論 文  
53B-9-6

## Digital PLL Control for Phase-Synchronization of Grid-Connected PV System

金 容 均\* · 崔 鐘 宇\*\* · 金 興 根†  
(Yong-Kyun Kim · Jong-Woo Choi · Heung-Geun Kim)

**Abstract** - The frequency and phase angle of the utility voltage are important in many industrial systems. In the three-phase system, they can be easily known by using the utility voltage vector. However, in the case of single phase system, there are some difficulties in detecting the information of utility voltage. In conventional system, the zero-crossing detection method is widely used, but could not obtain the information of utility voltage instantaneously. In this paper, the new digital PLL control using virtual two phase detector is proposed with a detailed analysis of single-phase digital PLL control for utility connected systems. The experimental results under various utility conditions are presented and demonstrate an excellent phase tracking capability in the single-phase grid-connected operation.

**Key Words** : PLL, Single-phase, Utility Connected Systems

### 1. 서 론

AC/DC 컨버터, UPS(Uninterruptible Power Supply), 대체 에너지 발전 시스템 등의 적용 분야에서 정확하고 빠른 계통 전압의 위상추정은 전체 시스템 제어에 반드시 필요하다.[1][2] 이 경우 계통 전압의 위상 정보는 기준 전류 신호를 발생하는데 필수적이다. 이 때 계통 전압에 노이즈나 외란이 유입될 경우에도 계통전압의 위상은 순시적으로 정확히 검출되어야 한다.

3상의 경우, 3상 전압을 정지좌표계로 변환한 후, 전압의 벡터각으로부터 위상각을 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 단상의 경우에는 이러한 방법이 적용되지 않으므로 단상 시스템의 위상 및 주파수 검출이 일반적으로 어렵다.[3] 단상에서는 영점 검출 방식이 많이 사용되는데, 이 방법은 영점에서만 위상을 검출하기 때문에 추정속도가 느리며 순시적인 위상을 검출할 수 없고 노이즈에 민감한 단점이 있다.

본 논문에서는 가상 2상 방식에 의한 주파수 및 위상 검출의 일반적인 원리와 구현 방식을 제시하고 실험을 통해 타당성을 검증한다.

### 2. 태양광 발전 시스템

그림 1은 단상 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 계통 연계형 태양광 발전 시스템은 태양전지에서 발생한

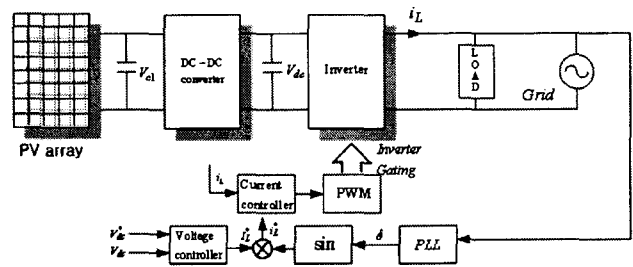


그림 1 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 일반적인 구조  
Fig. 1 General structure of grid-connected photovoltaic system

직류 전력을 인버터를 통해 교류 전력으로 변환하는 시스템이다<sup>[4]</sup>. 발전 전력이 부하 전력보다 크면 잉여 전력을 계통에 반환하고, 반대인 경우 부족한 전력을 계통으로부터 공급받는다.<sup>[4]</sup>

태양전지는 일사량과 온도에 따라 비선형의 특성을 가지므로 DC-DC 컨버터를 통해 최대 전력점 추종제어를 하여 최대 전력을 생성하고 인버터를 통해 직류 링크 전압( $V_{dc}$ )과 인버터 출력 전류( $i_L$ )를 제어하게 된다.<sup>[5][6]</sup> 이 때 인버터의 출력 전류( $i_L$ )는 계통의 전압과 동상인 정현파가 되어야 한다.<sup>[7]</sup> 계통전압과 동상인 정현파를 만들기 위해 PLL제어를 통해 계통 전압의 위상( $\theta$ )을 검출하여 기준 전류( $i_L^*$ )를 생성하여 제어한다.<sup>[8]</sup>

### 3. 영점 검출 방법

그림 2는 계통 전압의 주파수와 위상을 측정하기 위한 영점 검출 방법의 블록도이다. 반주기마다 영점을 지나는 점을 찾아내어 위상을 검출하고 추정 주파수를 이용하여 위상( $\theta$ )을 계산한다. PI 제

\* 正 會 員 : 경북대학교 전기공학과 석사  
\*\* 正 會 員 : 경북대학교 전자전기공학부 조교수  
† 교신저자, 正 會 員 : 경북대학교 전자전기공학부 교수  
E-mail : kimhg@knu.ac.kr  
接受日字 : 2004年 3月 8日  
最終完了 : 2004年 7月 16日

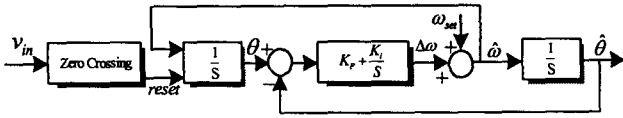


그림 2 영점 검출 방법  
Fig. 2 Zero cross detection method

어를 사용하여 실제 위상각( $\theta$ )과 추정위상( $\hat{\theta}$ )의 오차를 제어하여  $\Delta\omega$ 를 출력하며 각 주파수 초기 설정치( $\omega_{set}$ )를 더하여 추정 주파수( $\hat{\omega}$ )를 출력한다.<sup>[9][10]</sup> 시스템 각 주파수 초기 설정치( $\omega_{set}$ )는 PI제어기의 초기값으로 계통의 알려진 각 주파수인 377rad/s이다.

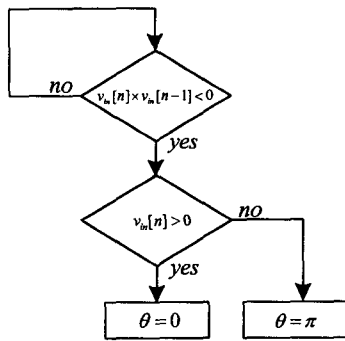


그림 3 영점 검출 방법의 구현  
Fig. 3 Implementation of zero cross detection method

그림 3은 영점 검출 방법의 순서도이다. 계통 전압을 샘플링하여 현재 값과 과거값을 곱셈 연산하여 그 결과가 음의 값이면 영점으로 간주한다. 이 때 현재 값이 0보다 크면 위상이 0인 경우이고 현재 값이 0보다 작으면 위상이  $\pi$ 인 경우이다. 그러나 영점 검출 방법은 계통전압에 노이즈가 유입되어 영점을 여러 번 지나게 되면 계통전압의 위상검출에 오류가 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

4. 가상 2상 위상 검출 방식의 구조와 원리

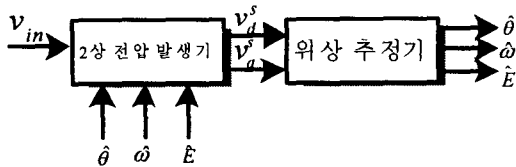


그림 4 가상 2상 위상 검출기  
Fig. 4 Phase detector with virtual two phase

그림 4는 본 논문에서 제시한 가상 2상 위상 검출기의 블록도이다. 가상 2상 위상 검출기는 2상 전압 발생기와 위상 추정기로 구성되어 있다. 2상 전압 발생기는 입력 전압  $v_{in}$ 를 통해 위상차가  $\pi/2$ 인  $v_d^s$ 와  $v_q^s$ 를 발생시킨다. 이 두 신호를 이용하여 위상 추정기에서 추정위상각( $\hat{\theta}$ )과 추정주파수( $\hat{\omega}$ )와 추정진폭( $\hat{E}$ )을 계산한다.

4.1 2상 전압 발생기

2상 전압 발생기는 그림 4에서 입력 전압이 다음과 같이 주어졌을 때

$$v_{in} = E \sin(\omega t) = E \sin(\theta) \tag{1}$$

위상차가  $\pi/2$ 인 다음과 같은  $v_d^s$ 와  $v_q^s$ 를 발생한다.

$$v_q^s = E \sin(\omega t) = v_{in} \tag{2}$$

$$v_d^s = E \cos(\omega t) \tag{3}$$

2상 전압 발생기의 출력  $v_q^s$ 는 입력전압과 동일하므로, 출력  $v_d^s$ 를 구하는 방법에 따라 다음과 같은 5가지의 방법으로 구분할 수 있다.

(1) 메모리 테이블을 이용하는 방법<sup>[1]</sup>

메모리 테이블을 이용하는 방법은 그림 5에서와 같이  $v_{in}$ 을 매 샘플링주기마다 메모리에 저장한다. 이때  $v_q^s$ 는  $v_{in}$ 과 같고  $v_d^s$ 는  $v_{in}$ 의 1/4주기 이전의 값에 (-1)를 곱하면 얻을 수 있다. 즉,  $\omega \equiv \hat{\omega}$ 이면

$$v_d^s = -v_{in}(t - \frac{\pi}{2\omega}) = -E \sin(\omega t - \frac{\omega \pi}{2}) \cong E \cos(\omega t) \tag{4}$$

이 되어  $v_q^s$ 와  $90^\circ$  위상차가 나는 신호  $v_d^s$ 를 얻을 수 있다.

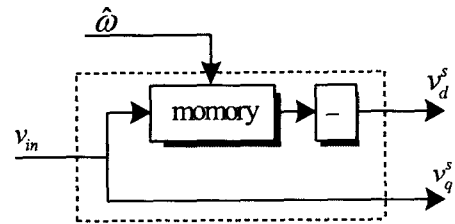


그림 5 메모리테이블을 이용하는 방법  
Fig. 5 Method using memory table

(2) 추정위상과 추정진폭을 이용하는 방법

추정위상과 추정진폭을 이용하는 방법은 그림 6에서와 같이 추정된  $\hat{E}$ 와  $\hat{\theta}$ 를 이용하여  $v_q^s$ 와  $90^\circ$  위상차가 나는 신호를 얻을 수 있다. 즉, 추정진폭과 추정위상이 각각 실제진폭과 실제위상을 잘 추종하고 있다면

$$v_d^s = \hat{E} \cos \hat{\theta} \cong E \cos \theta = E \cos \omega t \tag{5}$$

이 되어,  $v_q^s$ 와  $90^\circ$  위상차가 나는 신호가 된다.

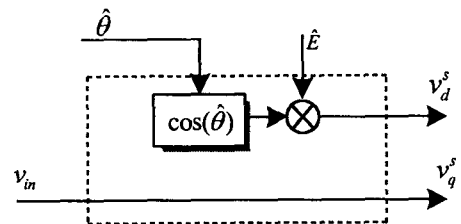


그림 6 추정위상과 진폭을 이용하는 방법  
Fig. 6 Method using estimated phase and amplitude

(3) 2차 저역 통과 필터를 이용하는 방법

2차 저역 통과 필터를 이용하는 방법은 그림 7에서와 같이 감쇄

비  $\zeta = 1/\sqrt{2}$  이고 비감쇄 고유주파수  $\omega_n$  이 추정각주파수( $\hat{\omega}$ )인 2차 LPF(Low Pass Filter)를 이용하여  $v_d^s$  와  $v_q^s$  를 발생시킨다. 입력 전압( $v_{in}$ )이 2차 LPF를 거치게 되면, 추정각주파수( $\hat{\omega}$ )가 실제 각주파수와 일치할 경우 입력 전압과 위상차가  $\pi/2$  이고 크기가  $E/\sqrt{2}$  인 신호를 얻을 수 있다. 그러므로  $v_d^s$  는

$$v_d^s \cong (-\sqrt{2}) \left( \frac{E}{\sqrt{2}} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \right) = E \cos(\omega t) \quad (6)$$

로 구할 수 있다.

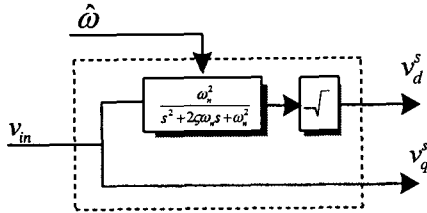


그림 7 2차 저역 통과 필터를 이용하는 방법  
Fig. 7 Method using second-order low pass filter

(4) 1차 저역 통과 필터를 이용하는 방법

1차 필터를 이용하는 방법은 그림 8에서와 같이 차단주파수( $\omega_c$ )가 추정각주파수( $\hat{\omega}$ )인 1차 LPF(Low Pass Filter)를 이용하여  $v_d^s$  와  $v_q^s$  를 발생한다. 입력 전압( $v_{in}$ )이 1차 LPF를 거치면 추정각주파수가 실제 각주파수인 경우  $(E/\sqrt{2})\sin(\omega t - \pi/4)$ 가 된다.

그러므로  $v_d^s$  는

$$\begin{aligned} v_d^s &= v_{in} - 2 \times \frac{E}{\sqrt{2}} \sin(\omega t - \frac{\pi}{4}) \\ &= E \sin(\omega t) - 2 \times \frac{E}{\sqrt{2}} \sin(\omega t - \frac{\pi}{4}) \\ &= E \cos(\omega t) \end{aligned}$$

로 구할 수 있다.

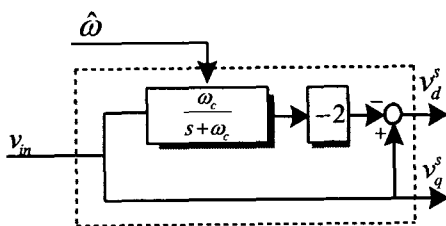


그림 8 1차 저역 통과 필터를 이용하는 방법  
Fig. 8 Method using first-order low pass filter

(5) 2차 전역 통과 필터를 이용하는 방법

그림 9에서와 같이 2차 전역 통과 필터를 이용하여  $v_d^s$  와  $v_q^s$  를 발생한다. 입력 전압( $v_{in}$ )이 감쇄비  $\zeta=1$  이고 비감쇄 고유주파수  $\omega_n$  이 추정각주파수( $\hat{\omega}$ )의  $(\sqrt{2}-1)$  배인 2차 전역 통과 필터를 거치게 되면 추정각주파수( $\hat{\omega}$ )가 실제 각 주파수와 일치할 경우 입력 전압과 위상차가  $\pi/2$  이고 크기가  $E$  인 신호를 얻을 수 있다. 그러므로

$$v_d^s = \hat{E} \cos \hat{\omega} t \cong E \cos \omega t \quad (8)$$

이 된다.

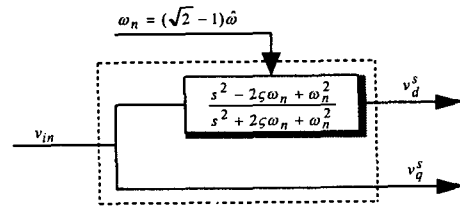


그림 9 2차 전역 통과 필터를 이용하는 방법  
Fig. 9 Method using all pass filter

4.2 위상 추정기

그림 4에서 위상 추정기는 4.1에서 구한  $v_d^s$  와  $v_q^s$  를 이용하여 추정각주파수( $\hat{\omega}$ ), 추정위상( $\hat{\theta}$ ), 추정진폭( $\hat{E}$ )를 발생시키는 부분이다.

(1) arctan 함수를 이용하는 방법

그림 10에서와 같이

$$\theta^* = \tan^{-1} \left( \frac{v_q^s}{v_d^s} \right) \quad (9)$$

을 얻을 수 있다. 지령위상각( $\theta^*$ )과 추정위상각( $\hat{\theta}$ )의 차를 PI 제어하여  $\Delta\omega$ 를 만들어 내어 각주파수 설정치( $\omega_{set}$ )를 더하여 추정주파수( $\hat{\omega}$ )를 발생시킨다. 시스템의 각주파수 초기 설정치인  $\omega_{set}$ 는 계통 전압의 각 주파수로 설정하였다. 추정주파수( $\hat{\omega}$ )를 적분하면 추정위상각( $\hat{\theta}$ )을 얻을 수 있다. 추정진폭( $\hat{E}$ )은 다음식에 의해 구한다.

$$\hat{E} = \sqrt{(v_d^s)^2 + (v_q^s)^2} \quad (10)$$

(7)

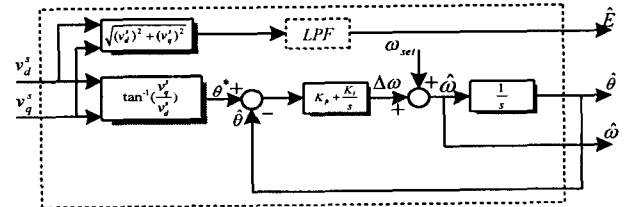


그림 10 arctan 함수를 이용하는 방법  
Fig. 10 Method using arctan function

(2) 동기 좌표계를 이용하는 방법

그림 11과 같이  $v_d^s$ ,  $v_q^s$  를 동기 좌표계로 변환하면

$$v_d^e = v_d^s \cos \hat{\theta} + v_q^s \sin \hat{\theta} \quad (11)$$

$$v_q^e = -v_d^s \sin \hat{\theta} + v_q^s \cos \hat{\theta} \quad (12)$$

이 되고,  $v_d^s = E \cos \theta$ ,  $v_q^s = E \sin \theta$  을 대입하여 정리하면,

$$v_d^e = E \cos(\hat{\theta} - \theta) \quad (13)$$

$$v_q^e = E \sin(\hat{\theta} - \theta) \quad (14)$$

이 되고,  $\hat{\theta}$ 와  $\theta$ 가 오차가 작다면

$$v_d^e = E \quad (15)$$

$$v_q^e = E(\hat{\theta} - \theta) \quad (16)$$

으로 근사화 할 수 있다. 즉,  $v_d^e$  는 입력 전원의 진폭을 나타내고,  $v_q^e$  는 추정 위상오차를 표현한다.  $v_q^e$  에 추정진폭( $\hat{E}$ )을 나누어 추

정오차를 구한 다음 PI 제어하여  $\Delta\omega$ 를 출력하고 주파수 설정치 ( $\omega_{set}$ )를 더하여 추정주파수( $\hat{\omega}$ )를 발생한다. 추정주파수( $\hat{\omega}$ )를 적분하여 추정위상각( $\hat{\theta}$ )을 얻는다.  $v_d^e$ 는 입력 전원의 진폭을 나타내므로 추정 진폭이 된다.

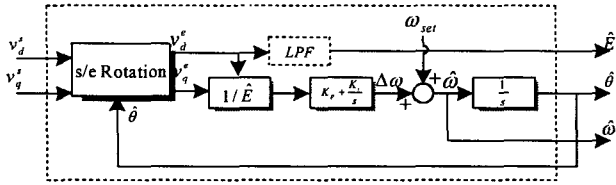


그림 11 동기 좌표계를 이용하는 방법  
Fig. 11 Method using synchronous reference frame

4.3 실제적 구현

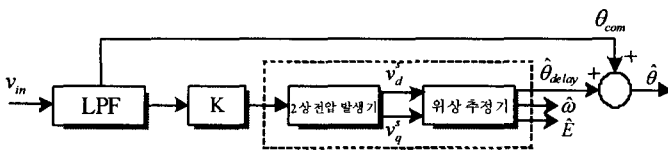


그림 12 전체 구성  
Fig. 12 Overall configuration

그림 12는 실제 구현을 하기 위한 전체 구성도를 나타낸다. 실제 구현 시 입력 전압의 노이즈를 제거하기 위한 LPF를 삽입한다. LPF에 의한 진폭의 감소를 보상하기 위해 이득 K를 곱하고, LPF에 의한 위상 지연을 보상하기 위하여 보상위상( $\theta_{com}$ )을 더해 준다. LPF의 전달 함수를  $F(s)$ 라고 하면 이득 K와 보상위상( $\theta_{com}$ )은 다음과 같다.

$$K = \frac{1}{|F(j\hat{\omega})|} \tag{17}$$

$$\theta_{com} = \angle F(j\hat{\omega}) \tag{18}$$

5. 실험 결과

앞에서 설명한 2상 전압 발생기와 위상 추정기를 조합하면 표 1과 같이 10가지의 PLL 제어방식을 구성할 수 있다.

표 1 제안된 PLL 제어방법  
Table 1 Proposed PLL control method

구분	2상 전압 발생기	위상 추정기
방식 I	메모리레이블을 이용하는 방법	arctan을 이용하는 방법
방식 II	추정위상각과 추정진폭을 이용하는 방법	arctan을 이용하는 방법
방식 III	2차 필터를 이용하는 방법	arctan을 이용하는 방법
방식 IV	1차 필터를 이용하는 방법	arctan을 이용하는 방법
방식 V	전역 필터를 이용하는 방법	arctan을 이용하는 방법
방식 VI	메모리레이블을 이용하는 방법	동기좌표계를 이용하는 방법
방식 VII	추정위상각과 추정진폭을 이용하는 방법	동기좌표계를 이용하는 방법
방식 VIII	2차 필터를 이용하는 방법	동기좌표계를 이용하는 방법
방식 IX	1차 필터를 이용하는 방법	동기좌표계를 이용하는 방법
방식 X	전역필터를 이용하는 방법	동기좌표계를 이용하는 방법

10가지 방법에 대한 초기추정특성과 정상상태 추정특성, 그리고 전압 강하 시 추정특성, 고조파 주입 시 추정특성을 실험하였다. 입력 전원은 220Vrms, 60Hz이며, 초기추정특성과 정상상태 추정특성, 그리고 전압 강하 시 추정특성을 실험할 때 노이즈에 대한 강인성을 검증하기 위해 노이즈(30Vpeak, 1kHz)를 주입하였고 추정기는 실제 위상이  $\pi$  일 때부터 동작시켰다. 고조파 주입 시 추정 특성을 실험할 때 3고조파와 5고조파를 각각 주입하였다. 추정 입력 전원은 추정 진폭( $\hat{E}$ )과 추정 위상각( $\hat{\theta}$ )를 이용하여 다음과 같이 구하였다.

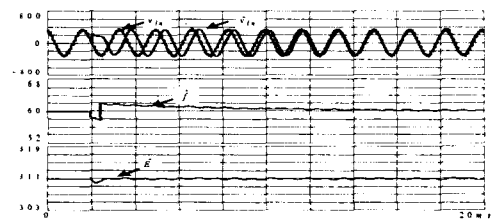
$$\hat{v}_{in} = \hat{E} \sin \hat{\theta} \tag{19}$$

5.1 초기 추정 특성

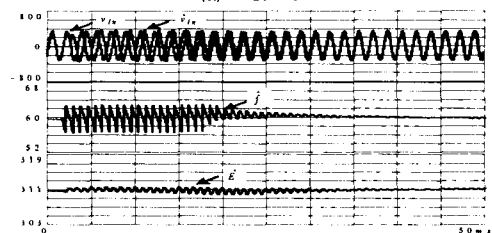
그림 13은 초기 추정 특성을 나타내고 있다. 초기 추정 특성을 알아보기 위해 전원 전압의 위상이  $\pi$  일 때 제어기를 동작시켰다. 방식 II와 방식 VII의 경우는 2상 전압 발생기로 추정위상각과 추정진폭을 이용하는 방법을 사용한 것이다. 이 경우, 전원전압과 90° 위상차가 나는 신호를 얻기 위해서는 정확한 추정위상이 필요한데, 초기에는 정확한 추정위상을 얻을 수 없으므로 이 과정에서 상당한 진동이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 13에서 arctan을 이용하는 방법(I~V)과 동기좌표계를 이용하는 방법(VI~X)을 과도상태와 정상상태에서 각각 비교하면 약간의 특성차이가 보이는 것을 확인할 수 있다. 이것은 동기좌표계를 이용하는 방식에서 실제의  $v_q^e$ 는 식 (14)와 같지만, 실제 구현과정에서  $\hat{\theta}$ 와  $\theta$ 의 오차가 작다는 가정아래 식 (16)과 같이 근사화하였기 때문이다.

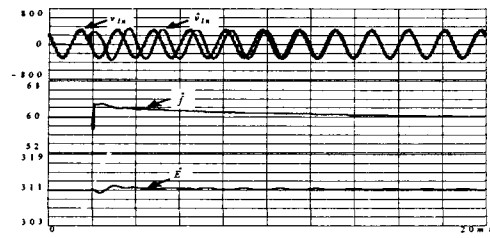
10가지 방법에 대한 추정속도를 표 2에 나타내었다. 추정속도는 제어기가 동작한 시점부터 주파수 추정값이  $60 \pm 0.5\text{Hz}$ 이내에 도달하는데 걸리는 시간으로 정하였다. 방식 II와 VII의 경우 추정 시간이 약 325ms와 275ms로 느린 특성을 보이고 나머지는 약 110~140ms로 우수한 특성을 보인다.



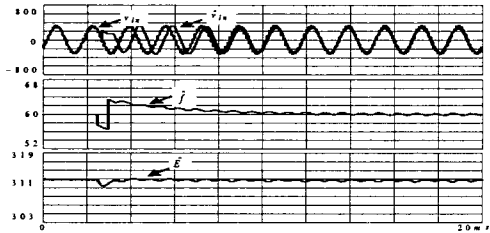
(a) 방식 I  
(a) Method I



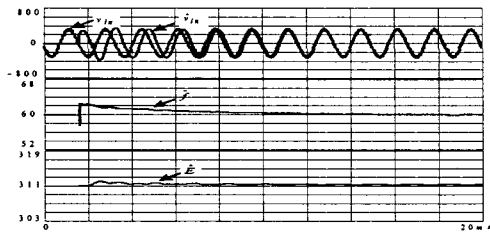
(b) 방식 II  
(b) Method II



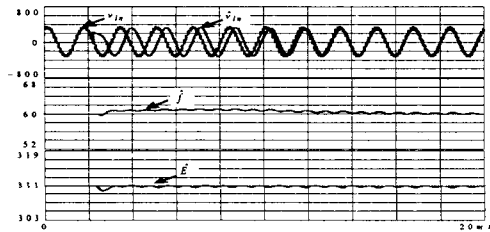
(c) 방식 III  
(c) Method III



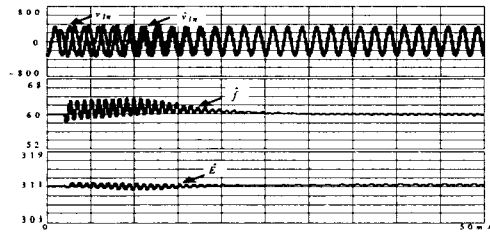
(d) 방식 IV  
(d) Method IV



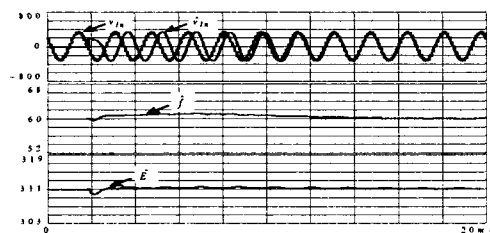
(e) 방식 V  
(e) Method V



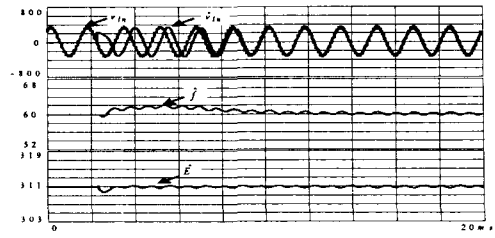
(f) 방식 VI  
(f) Method VI



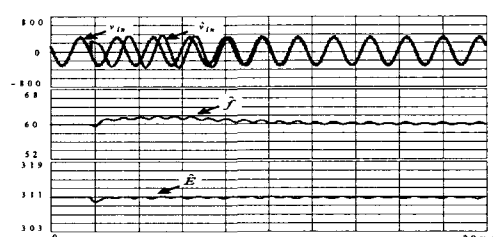
(g) 방식 VII  
(g) Method VII



(h) 방식 VIII  
(h) Method VIII



(i) 방식 IX  
(i) Method IX



(j) 방식 X  
(j) Method X

그림 13 초기 추정 특성

(상 : 입력전원( $v_{in}[V]$ )과 추정입력전원( $\hat{v}_{in}[V]$ ))

(중 : 추정입력주파수( $\hat{f}[Hz]$ ))

(하 : 추정진폭( $\hat{E}[V]$ ))

Fig. 13 Initial estimation characteristics

(top : input voltage and estimated input voltage)

(middle : estimated amplitude)

(bottom : estimated frequency)

표 2 초기 추정 특성 비교

Table 2 Comparison of initial estimation characteristics

구분	추정속도(ms)
방식I	120
방식II	325
방식III	140
방식IV	130
방식V	130
방식VI	120
방식VII	275
방식VIII	120
방식IX	110
방식X	120

## 5.2 정상상태 추정 특성

그림 14는 초기 추정 특성이 가장 우수한 방식인 2상 전압 발생기로 2차 필터를 이용하고 위상 추정기로 동기 좌표계를 이용한 경우인 방식 VIII에서 입력 전원에 노이즈가 포함되어 있을 때 추정 특성을 나타낸 것인데, 노이즈가 있는 상황에서도 추정 입력 전원이 실제 입력 전원을 잘 추정하며 주파수도 60Hz로 추정한다. 실험 결과, 나머지 다른 방식도 비슷한 파형을 나타내었다.

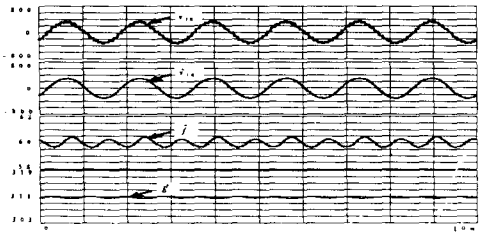


그림 14 정상상태 추정 특성(방식VIII)  
 (첫째 : 입력전원 ( $v_{in}[V]$ ))  
 (둘째 : 추정입력전원 ( $\hat{v}_{in}[V]$ ))  
 (셋째 : 추정입력주파수 ( $\hat{f}[Hz]$ ))  
 (넷째 : 추정진폭 ( $\hat{E}[V]$ ))

Fig. 14 Characteristic of estimation under steady state(Method VIII)  
 (1st : input voltage)  
 (2rd : estimated input voltage)  
 (3rd : estimated frequency)  
 (4th : estimated amplitude)

5.3 전압 강하 시 추정 특성

그림 15는 입력 전압이 50% 강하되었을 때 방식 VIII의 추정 특성을 나타낸 것이며 나머지 9개의 방식에 대한 실험결과는 비슷한 파형을 나타내었다. 10가지 방식에 대한 추정속도를 표3에 나타내었는데, 다른 방식에 비하여 방식 II와 VII의 경우 각각 약 250ms와 225ms로 느린 속도로 추정하였다.

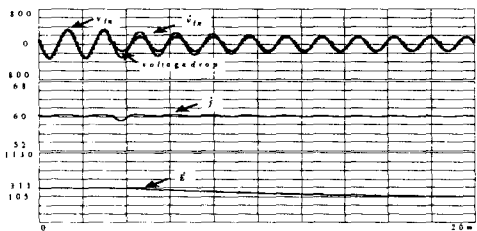


그림 15 전압 강하 시 추정 특성(방식VIII)  
 (상 : 입력전원 ( $v_{in}[V]$ )과 추정입력전원 ( $\hat{v}_{in}[V]$ ))  
 (중 : 추정입력주파수 ( $\hat{f}[Hz]$ ))  
 (하 : 추정진폭 ( $\hat{E}[V]$ ))

Fig. 15 Characteristic of estimation under voltage drop(Method VIII)  
 (top : input voltage and estimated input voltage)  
 (middle : estimated amplitude)  
 (bottom : estimated frequency)

표 3 전압 강하 시 추정특성 비교

Table. 3 Comparison of characteristic of estimation under voltage drop

구분	추정 속도(ms)
방식I	125
방식II	250
방식III	120
방식IV	130
방식V	140
방식VI	115
방식VII	225
방식VIII	100
방식IX	130
방식X	130

5.4 고조파 주입 시 추정 특성

그림 16과 그림 17은 방식 VIII에서 3고조파(30Vpeak)와 5고조파(30Vpeak) 주입 시 추정 특성을 나타낸 것이며, 10가지 방식에 대한 추정속도를 표4에 나타내었다. 추정위상각과 추정진폭을 이용한 방식인 II와 VII이 다른 방식에 비해 추정 속도가 느리다.

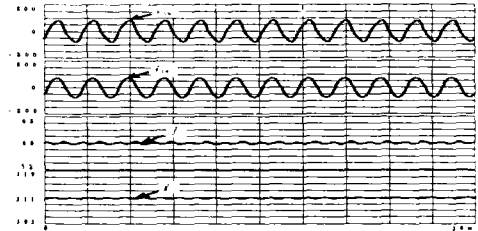


그림 16 3고조파 주입 시 추정 특성(방식VIII)  
 (첫째 : 입력전원 ( $v_{in}[V]$ ), (둘째 : 추정입력전원 ( $\hat{v}_{in}[V]$ ))  
 (셋째 : 추정입력주파수 ( $\hat{f}[Hz]$ ))  
 (넷째 : 추정진폭 ( $\hat{E}[V]$ ))

Fig. 16 Characteristic of estimation under injection of the 3rd harmonic component (Method VIII)  
 (1st : input voltage), (2nd : estimated input voltage)  
 (3rd : estimated frequency)  
 (4th : estimated amplitude)

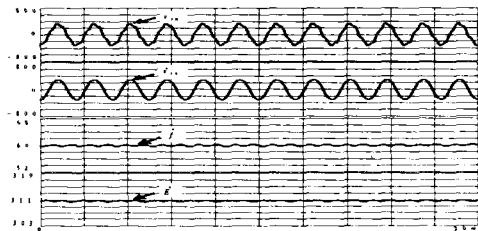


그림 17 5고조파 주입 시 추정 특성(방식VIII)  
 (첫째 : 입력전원 ( $v_{in}[V]$ ), (둘째 : 추정입력전원 ( $\hat{v}_{in}[V]$ ))  
 (셋째 : 추정입력주파수 ( $\hat{f}[Hz]$ ))  
 (넷째 : 추정진폭 ( $\hat{E}[V]$ ))

Fig. 17 Characteristic of estimation under injection of the 5th harmonic component (Method VIII)  
 (1st : input voltage), (2rd : estimated input voltage)  
 (3rd : estimated frequency)  
 (4th : estimated amplitude)

표 4 고조파 주입 시 추정특성 비교

Table 4 Comparison of characteristic of estimation under injection of the harmonic component

구분	추정 속도(ms)
방식I	140
방식II	330
방식III	145
방식IV	140
방식V	145
방식VI	135
방식VII	300
방식VIII	130
방식IX	135
방식X	133

## 6. 결 론

다양한 분산 전원의 계통 연계를 위해서 계통 전원의 위상을 정확히 검출해야 한다. 기존의 영점 검출 방식은 구현이 간단한 장점은 있지만 추정 속도가 느리며 노이즈에 민감한 단점이 있다.

본 논문에서는 획기적으로 보급이 확산될 것으로 전망되는 3kW 급 주택용 태양광 발전 시스템을 대상으로 하여 단상 시스템에서 전원의 위상을 검출하기 위한 가상 2상 검출 방식을 제안하였다.

가상 2상 위상 검출 방식은 2상 전압 발생 방법 5가지와 위상 추정 방법 2가지의 조합에 따라 10가지 방식이 가능한데 이 10가지의 PLL 제어 방식의 일반적인 원리와 구현 방식을 제시하였고 실험을 통해 노이즈에 대한 강인성과 추정 특성을 검증하였다.

초기 추정 특성과 정상 상태 특성, 전압 강하 시 특성과 고조파 주입 시 추정 특성을 실험하여 추정속도를 비교하였다. 그 결과를 통해 메모리데이블을 이용하는 방법과 필터를 이용하는 방법이 추정위상각과 추정진폭을 이용하는 방법보다 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그런데 메모리 데이블을 이용하는 방법은 메모리의 저장공간이 많이 필요하며 구현이 어려운 단점이 있다. 따라서 가상 2상 검출기로 필터를 이용하는 방법이 바람직하다.

위상 추정기에서 arctan을 이용하는 방법과 동기좌표계를 이용하는 방법을 과도상태와 정상상태에서 각각 비교하면 약간의 특성차이가 보이는 것을 확인할 수 있다. 추정 속도는 arctan을 이용하는 방법보다 동기 좌표계를 이용하는 방법이 빠르지만 정상상태에서 맥동이 더 많은 것을 확인할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2002-B-051) 주관으로 수행된 과제임

### 참 고 문 헌

- [1] Sakamoto S., Izumi T., Yokoyama T., Haneyoshi T., "A new method for digital PLL control using estimated quadrature two phase frequency detection." in PCC Osaka 2002 proceedings, Volume 2, pp. 671-676
- [2] Guan-Chyu Hsieh, Hung, J.C., "Phase-locked loop techniques loop techniques.A survey", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Volume 43, Issue 6, Dec, 1996, pp. 609-615.
- [3] Arruda L.N., Silva S.M., Filho B.J.C., "PLL structures for utility connected systems", in IAS'2001, 2001, Volume 4. pp. 2655-2660.
- [4] 김홍성 "3상 계통 연계 태양광 발전 시스템의 제어기 설계", 건국대학교 대학원 박사학위청구논문, 1998.
- [5] 유권종 외 "양방향성 PWM전버터를 이용한 가정용 태양광 에어컨 시스템에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 45권 3호, pp. 358-364.
- [6] 김태영 외 "태양광 발전 시스템을 위한 새로운 최대 출력점 추종 제어 알고리즘", 대한전기학회논문지 51권 3호, pp. 133-141.
- [7] L.N. Arruda, B.J. Cardoso Filho, S.M. Silva, S.R. Silva, and A.S.A.C. Diniz, "Wide bandwidth single and three-phase PLL

structures for grid-tied PV systems" in Proceeding of 228thIEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage (AK), pp. 1660-1663, September, 2000.

- [8] S.C. Gupta, K. Venkatesan, K. Eapen, and P. Pradhan, "A fast measuring Phase detector for use in PLL Motor control system" IEEE Tran. Ind. Electron Contr. IECI-25, pp. 75-76, 1978.
- [9] M. F. Lai and M. Nakano, "Special Section on Phase-locked Loop Techniques," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 6, December 1996, pp. 607-608.
- [10] M. Karimi-KGhartemani and M.R. Iravani, "An alternative structure for phase-locked loop(PLL)system," IEEE Trans. Circuits Syst, submitted for publication.

## 저 자 소 개



### 김 용 균 (金容均)

1976년 7월 23일생. 2002년 경북대 공대 전자전기공학부 졸업(학사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).

Tel : 053-606-1206

Fax : 053-606-1258

E-mail : kykjl@hotmail.com



### 최 증 우 (崔鐘宇)

1969년 2월 25일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수.

Tel : 053-950-5515

Fax : 053-950-5508

E-mail : cjw@knu.ac.kr



### 김 흥 근 (金興根)

1954년 4월 24일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 경북대 전자전기공학부 교수. 당 학회 학술이사.

Tel : 053-950-5605

Fax : 053-950-5508

E-mail : kimhg@knu.ac.kr