

# 전원동기를 위한 위상검출방법

김영춘, 이사영\*  
공주대학교, 명지전문대학\*,

## A Phase Detection Method For Line Lock

Young-Choon Kim, Sa-Young Lee\*  
Kongju National University, Myong Ji College\*

### ABSTRACT

Converter that is dc source equipment source's phase by reference control function that detect source's phase because should be done compulsorily use. Source's phase detect method there be method that use source's ac voltage directly by signal, and use methods that voltage detects status by PLL method and so on via point that '0' becomes usually.

All above methods to detect phase are using, wrong action of phase detector converter's ailment or converter of burn can. This paper compares and examined usable phase detection method in source's frequency fluctuation presuming source's frequency using observer.

### 1. 서론

직류전원장치인 컨버터는 전동기의 구동전원으로 사용되고 있으며 근래에는 대체에너지 등을 교류전원으로 전력을 보내기 위한 수단<sup>[2]</sup>으로 이용되고 있다. 전력변환기를 계통에 연계시키려면 전원의 위상을 기준으로 전력변환기를 제어하여야 하므로 전원의 위상을 검지하는 기능을 필수적으로 사용하고 있다. 전원의 위상검출방법은 전원의 교류전압을 필터 등을 사용하여 정형하거나 위상시프트의 방법으로 전원을 직접 신호로 사용하는 방법이 있고, 아날로그 비교기와 전압이 '0'이 되는 점에서 펄스를 발생하여 이 시점을 기준으로 카운터에 의한 위상검지 방법 또는 PLL 방법 등을 일반적으로 사용하고 있다.

위상을 검지하는 위의 방법들은 모두 사용하고 있으며 위상 검지기의 오동작은 컨버터의 불안정 또는 컨버터의 소손으로 확대될 수 있다. 본 연구에서는 되도록 하드웨어에 의존하지 않는 방법으로 위상을 검지하고 전원의 주파수를 추정하여 전력변환기를 제어하는 방법을 사용하고자 한다. 위상각과 주파수의 추정은 관측기를 사용하는 방법<sup>[1]</sup>이 있으며 전원전압이 0이 되는 점을 기준으로 했을 때와 검출된 전압으로부터 계산된 위상으로 각각 관측기를 구성하고 이들을 비교검토 하였다. 관측기의 사용은 전원의 주파수 변동에도 사용할 수 있는 위상 검지방법이고 빠르고 간단한 방법임이 확인되었다.

### 2. 위상각과 각속도의 추정을 위한 관측기

3상전원의 위상을 검출하는 방법은 두 가지의 방법이 있을 수 있다.

(I) 전원의 전압파형이 0이 되는 순간은 전원의 위상이 60 [도]가 되는 점이므로 이를 기준으로 하여 제어순간의 위상을 계산하는 방법.

(II) 전원의 전압파형으로부터 제어순간의 위상을 계산하는 방법.

위의 (I)방법 중 기본적으로 카운터 등 하드웨어에 의존하여 위상각을 검출하는 방법을 예로 들 수 있으며 이 경우 기준 Clock 펄스의 발생 등 복잡한 하드웨어가 요구된다. (II)의 방법은 전원에 포함된 노이즈는 직접적으로 위상계산에 영향을 주게 된다. 본 연구에서는 위의 두 방법에 대하여 전원의 노이즈를 고려하여 프로그램에 의존한 방법으로 위상각과 주파수를 추정하는 방법을 사용한다.

전원의 위상각과 각속도의 관계는 다음 식(1)과 같다.

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (1)$$

전원의 주파수는 변동이 없다고 가정하여

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 \quad (2)$$

라고 하면 전원의 위상각과 주파수는 위상이 측정가능하다면

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \hat{\theta} \\ \hat{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} \\ y = [1 \ 0] \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} \end{cases} \quad (3)$$

가 된다. 그러므로 식(3)의 전차원 관측기는

$$\begin{bmatrix} \hat{\theta} \\ \hat{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta} \\ \hat{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} (\theta - \hat{\theta}) \quad (4)$$

로 되어 그림 1의 블록도와 같이 된다.

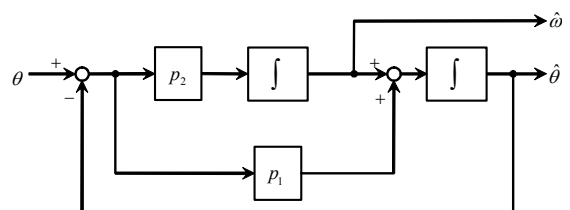


그림 1. 위상각과 각속도의 추정기

### 3. 위상각의 검출

3상 - 2상 변환에 있어서 A상을 기준축인  $\alpha$  축으로 하면 2상 전압은 다음 식(5)로 계산된다.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

3상 전원과 2상 전압의 변환관계는 그림 2의 벡터도와 같다. 또 이들의 순시전압 파형은 그림 3에 나타내었다. 그림 3의  $v_a$ 와  $v_\beta$ 는 식(5)로 계산된 파형이다.

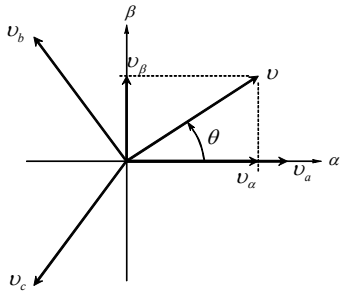


그림 2. 3상 - 2상 변환의 벡터관계

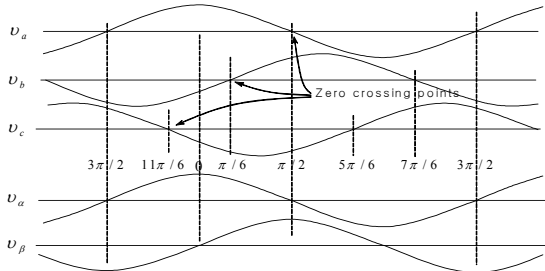


그림 3. 전원의 전압과 위상각

그림 3에서 전압이 0이 되는 점은 비교기 등을 사용하여  $\alpha$  축을 기준으로 한 위상각의 측정이 가능한 점이된다. 이는 식(11)에 의한 변환과정 없이 전원으로 부터 검지가 가능하고 방법(I)에 적용한다. 식(5)에 의하여 얻어진 2상 전압에 의하여 다음 식(6)으로 위상각을 계산한 결과는 방법(II)에 사용한다.[3]

$$\Theta = \tan^{-1} \left( \frac{V_\beta}{V_a} \right) \quad (6)$$

### 4. 각속도의 추정

식(4)를 두 가지의 방법에 적용하여 비교 검토한다.

#### 4-1. 방법(I)

위상검출에 있어서 3상의 전원은  $60^\circ$ 간격의 위상은 앞에서 설명한 바와 같이 간단한 하드웨어에 의하여 검출이 가능하다. 식(4)에서 우변 제2항의 오차검출은 전원의 전기각  $60^\circ$ 간격의 샘플링에 의하여 가능하고 제어에 필요한 순시적인 위상각은 추정이 가능하지 않다. 그러므로 제어기에서 필요로 하는 위상각을 추정하기 위하여 제어간격인  $T_{sw}$ 로 샘플링 할 때

$$\Theta(i+1) = \Theta(i) + T_{sw} \omega(i) \quad (7)$$

로 하고 위상검지가 되는 시점에서는

$$\begin{cases} \Theta(k+1) = \Theta(k) + T_{sw} \omega(k) + p_1 \{ \Theta(k) - \widehat{\Theta}(k) \} \\ \omega(k+1) = \omega(k) + p_2 \{ \Theta(k) - \widehat{\Theta}(k) \} \end{cases} \quad (8)$$

여기에서  $\Theta(k) - \widehat{\Theta}(k)$ 는 전기각  $60^\circ$ 간격으로 샘플링할 때 오차이다.

식(7)은 제어간격으로 계산하고 식(8)은 전기각  $60^\circ$ 의 간격으로 계산한다. 식(7)을 고찰하면 이중의 하드웨어적인 카운터로 볼 수 있으며 식(8)은 PLL 시스템과 같은 구조로 볼 수 있다.

#### 4-2. 방법(II)

식(5)에 의하여 변환된 2상 전압으로 식(6)으로 위상각을 계산한다. 제어기가 필요로 하는 위상각을 항상 계산할 수 있지만 전원전압에 노이즈를 포함하여 파형이 일그러지면 오차를 수반하게 된다. 이 대책으로 관측기는 일종의 필터역할을 하므로 식(4)를 그대로 사용하여 위상각과 각속도를 추정한다. 샘플링 간격은 제어간격으로 하여 식(9)를 사용한다.

$$\begin{bmatrix} \Theta(i+1) \\ \omega(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_{sw} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Theta(i) \\ \omega(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} \{ \Theta(i) - \widehat{\Theta}(i) \} \quad (9)$$

전원의 위상을 기준으로 하여 전력변환을 하는 전압형 컨버터에서 제어기가 전원의 위상정보를 잃어버리면 컨버터는 보호 기능에 의한 운전정지를 하게 된다. 또 보호기능의 불완전 동작은 컨버터의 소손으로 확대될 수 있다. 또 방법(I)은 주파수 체배 기능의 PLL과 흡사하므로 수렴속도 등의 면에서 불안해질 가능성이 크다. 따라서 위상각을 추정하는 적분기가 일정오차를 벗어나면 초기화하는 방법을 추가한다.

### 5. 전압형 컨버터의 제어

전압형 컨버터의 제어는 그림 4와 같은 블록도로 적용하였다. 직류전압을 일정하게 유지하기 위한 전압제어기와 전류제어기로 사용하였고 설정전류에 의한 피드포드제어의 기능을 갖도록 하였다.

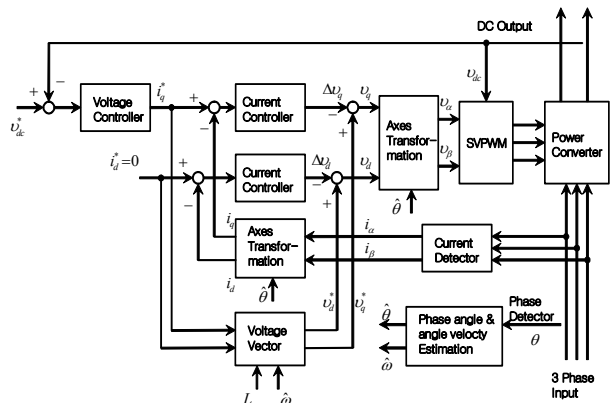


그림 4. 전압형 컨버터의 제어

### 6. 실험

위상각을 검출하는 두 방법을 그림 4의 전압형 컨버터에 위상각과 각속도를 추정하는 관측기로 적용하였다. 관측기가 수

렵하게 되면 두 방법은 모두 위상각과 각속도를 검출하는 기능으로 안정된 동작을 하지만 수렴하기전의 과정은 차이가 있다.

그림 5는 방법(I)을 사용했을 때 제어기가 동작한 후 수렴하는 순간을 측정할 것이다. 수렴하기까지의 시간은 측정할 때마다 달랐으며 그림 6은 수렴하는 과정에서 진동하는 현상을 측정할 것이다.

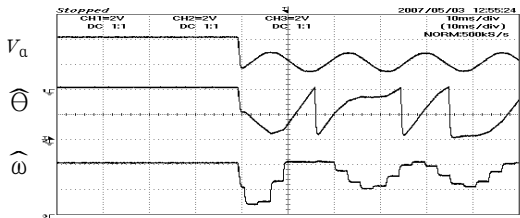


그림 5. 제어기의 리셋과 관측기의 동작

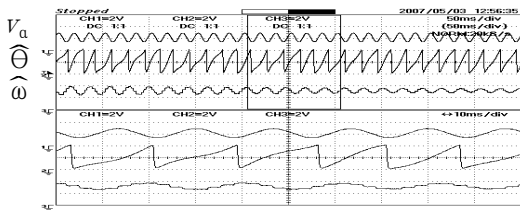


그림 6. 관측기의 수렴

그림 6의 하단은 상단파형의 일부를 확대한 것이다. 상단의 파형에서 각속도가 수렴하고 있는 현상이 보이고 있으며 위상각의 추정도 점점 양호해지고 있음을 볼 수 있다. 관측기가 수렴하기 까지 여러 주기가 필요로 하였다. 컨버터는 관측기가 수렴하는 동안에 동작할 수 없기 때문에 위상각을 추정하는 적분기를 초기화하여 수렴시간을 짧게 하였다.

전원의 제로크로싱 순간에 위상각을 추정하는 적분기를 초기화했을 때 그림 7과 같은 수렴특성이 측정되었다. 반복시험에서 항상 전원의 1주기보다 짧은 수렴시간으로 관찰되었다.

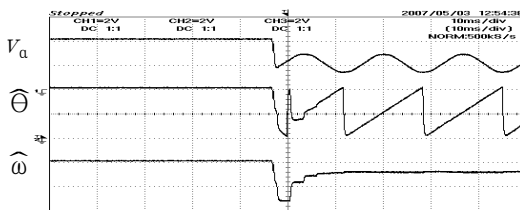


그림 7. 위상추정 적분기를 초기화했을 때

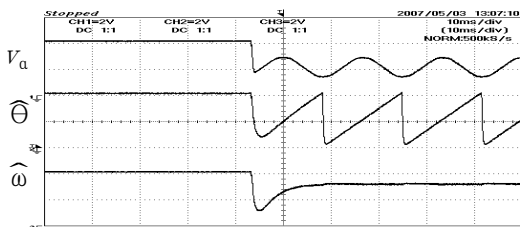


그림 8. 방법(II)의 수렴

그림 8은 방법(II)를 사용했을 때 수렴순간을 측정할 것이다. 방법(I)과 비교하여 위상각의 추정과 수렴속도가 빠름을 알 수 있다. 그림 9는  $v_a$ 와  $v_b$ 에 대하여 계산된 각과 추정각과의 오차를 나타내었다. 전원의 파형이 일그러져 있기 때문에 각도

에 대한 오차가 존재하며 오차의 크기는  $\pi/25 [rad/DIV]$ 로 확대된 것이다. 그림 10은 계산된 각과 추정각을 측정할 것이다.

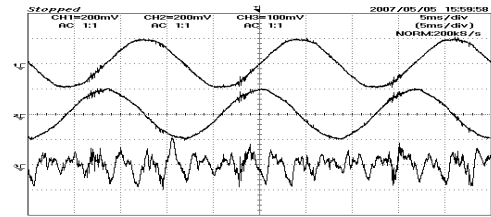


그림 9. 위상각 오차

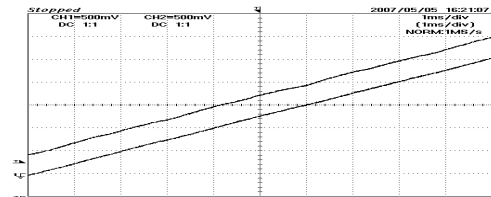


그림 10. 계산각과 추정각

## 7. 결론

관측기의 수렴속도는 방법(II)의 경우가 우수한 것으로 판단된다. 어느 방법이든 위상과 각속도의 검출방법으로 사용이 가능하며 측정을 위한 하드웨어없이 프로그램에 의하여 간단하게 사용할 수 있다.

컨버터의 제어에 있어서 전압벡터를 계산하여 제어에 사용하므로 자연스럽게 피드포드의 제어방법을 사용한 것이 되고 상회전이 바뀌더라도 안정적인 운전이 된다. 또한 전원의 각속도를 추정하여 리액터전압을 계산하므로 주파수가 변하더라도 컨버터의 운전이 가능할 것으로 판단된다.

방법(I)은 전원의 제로크로싱을 감지해야 하고 방법(II)는 전원의 전압을 A/D 변환하여 입력하여야 한다. 전원의 변동에 대한 동작과 컨버터의 기동순간 등에 전원의 전압을 사용한 컨버터의 전압벡터를 계산하여야 하므로 전원전압의 검출기능(A/D 입력기능)은 필요하므로 방법(II)가 유리한 방법으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] Diogo R. COSTA Jr., Luis G. B. ROLIM, Mauricio AREDES, "Analysis and Software Implementation of a Robust Synchronizing Circuit - PLL Circuit.", IEEE, 2003. <<http://www.coe.ufrj.br/~diogo/artigos/isie2003.pdf>>
- [2] R. Teodorescu, F. Blaabjerg, "Flexible Control of Small Wind Turbines With Grid Failure Detection Operating in Stand-Alone and Grid-Connected Mode", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, pp 1323-1332, NO. 5, SEPTEMBER 2004
- [3] Analog Devices, "Using the ADSP-2100 Family Volume 1." Analog Devices, Rev 1.0, pp 51-66, 1990.

<[http://www.iet.auc.dk/Research/research\\_prog/Green\\_Power\\_Converters/publications/Contr\\_4.pdf](http://www.iet.auc.dk/Research/research_prog/Green_Power_Converters/publications/Contr_4.pdf)>  
<<http://www.analog.com/processors/adsp/technicalLibrary/manuals/in dex.html>>