

# 단상 계통의 주파수 변화시 개선된 위상검출 기법

박진상, 이동춘  
영남대학교

## Improved Phase Detection Technique under Frequency Variation of Single-Phase Power System

Jin Sang Park and Dong Choon Lee  
Yeungnam University

### ABSTRACT

본 논문은 단상 전원 시스템에서 입력전원의 위상각 추정에 2차 일반화 적분기(Second Order Generalized Integrator SOGI)를 기반으로 하는 적응 필터구조를 적용한다. SOGI 출력은 전원 위상각과 관련되고, 올바른 출력을 위해서는 중심 주파수  $\omega'$ 이 전원 주파수를 빠르게 추정할 수 있도록 FLL(Frequency Locked Loop)제어가 필요하다. SOGI FLL의 기존의 방법과는 다르게 비선형 특성이 강한 주파수 동기화 동특성 모델에 퍼지제어를 적용함으로써 복잡한 선형화 과정이 필요하지 않으며, 실시간 이득 조절로 빠르게 전원 주파수 추정을 할 수 있는데 이는 최종적으로 빠른 전원 위상각 추정을 의미한다. 제안된 방법에 대해서 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

동기화 제어 시스템의 성능은 빠르고 정확한 PLL(Phase Locked Loop)과 관련이 있다. 3상 전원의 경우 Park's transformation으로부터 직각위상( $\alpha, \beta$ )을 쉽게 구현함으로써 전원 위상각을 추정할 수 있지만, 단상에서는 이러한 방법을 적용할 수 없다. 단상에서 사용하는 방법들은 주로 90도 위상을 지연시켜 직각위상( $\alpha$ 와 가상의  $\beta$ )을 얻는 방법이 사용된다. 이를 위해 전역통과필터, 2차 지역통과필터, 전차원 관측기를 이용하는 방법이 있지만 입력 전원에 고조파가 포함 될 때는 그 성능이 떨어진다. 또 다른 방법으로 SOGI로 구성된 2차 적응 필터 구조가 제안되었다. 고조파가 포함되거나 주파수 변화할 때 등 다양한 전원 이상에도 그 성능이 우수하고, 올바른 SOGI 출력을 위해서는 FLL(주파수 동기화)제어가 필요하다. 입력 전원의 주파수 변화에 따른 주파수 오차의 평균값과 추정되는 중심주파수 사이의 비선형적인 관계를 제어하는 역할인 FLL에 대해서 기존의 이득 정규화 방법은 복잡한 선형화 과정이 필요하다. 따라서 이러한 과정을 피하고 실시간 이득 조절을 위해 퍼지제어를 적용하면 더 빠르고 안정적인 성능을 얻을 수 있다. 단상 AC/DC PWM 컨버터 제어에 대한 시뮬레이션 결과로 제안된 방법의 성능을 검증한다.

### 2. SOGI-FLL

#### 2.1 기존의 방법 및 제안한 방법

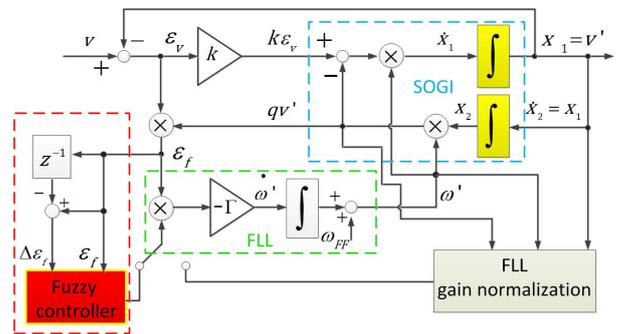


그림 1 기존의 방법 및 제안한 방법의 FLL 가변이득 블록선도  
Fig. 1 Block diagram of FLL with a variable gain for conventional and proposed methods

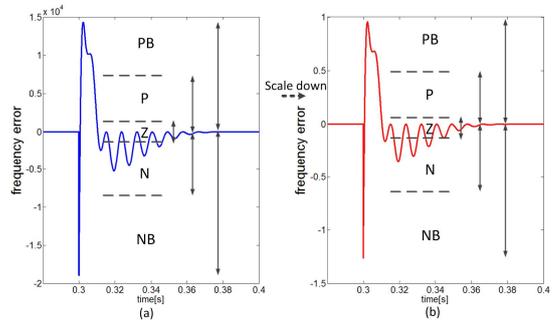


그림 2 주파수 오차의 퍼지화  
Fig. 2 Fuzzification of the frequency error

$$\dot{\omega}' = -\gamma \bar{\varepsilon}_f = -\frac{\gamma}{k} x_2^2 (\omega'^2 - \omega^2) \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{k\omega'}{v'^2 + qv'^2} \Gamma \quad (2)$$

$$\frac{\bar{\omega}'}{\omega} = \frac{\Gamma}{s + \Gamma} \quad (3)$$

주파수 에러의 평균값과 중심주파수의 관계가 식(1)과 같이 비선형적인 관계이다. 따라서 기존의 방법은 입력 주파수와 중심주파수와의 관계가  $\omega \approx \omega'$ 일 때 소신호 분석을 통하여 이득 정규화 값을 식(2)와 같이 정함으로써 주파수 동기화 시스템은 식(3)과 같이 1차 지연 시스템 응답특성을 가진다. 이러한 특성은 안정적으로 지령치에 수렴하지만 응답속도가 느리다. 제안한 방법은 그림 1에 나타나 있듯이 주파수 오차와 그 변화량을 그림 2에서와 같이 크기에 따라 구역을 나누고 언어변수 NB(Negative Big), N(Negative), Z(Zero), P(Positive), PB(Positive Big)로 정한다. 이 변수들을 퍼지제어 입력으로 하고

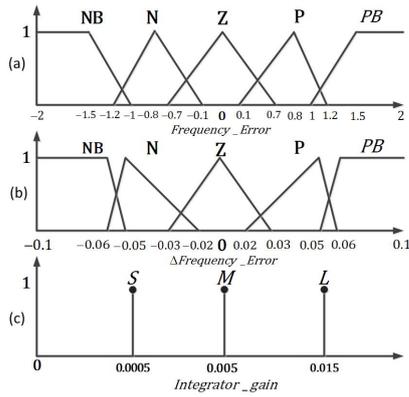


그림 3 입출력 속도 함수  
 (a) 주파수 오차 (b) 주파수 오차의 변화량 (c) 적분기 이득  
 Fig. 3 Membership functions  
 (a) Frequency error (b) variation of frequency error  
 (c) Integral gain

표.1 입출력 속도 함수에 대한 퍼지 규칙

		frequency error ( $\epsilon_f$ )					
		NB	N	Z	P	PB	
$\Delta \epsilon_f$	NB	S	S	S	S	S	
	N	S	L	M	L	S	
	Z	S	M	L	M	S	
	P	S	L	M	L	S	
	PB	S	S	S	S	S	

FLL의 적분기 이득을 출력으로 하여 그 관계를 표 1과 같이 정한다. 퍼지추론은 연산량을 줄이기 위해 Takagi sugeno 추론방법을 적용하며, 비퍼지화 방법으로는 가중평균을 사용한다.

### 3. simulation 결과

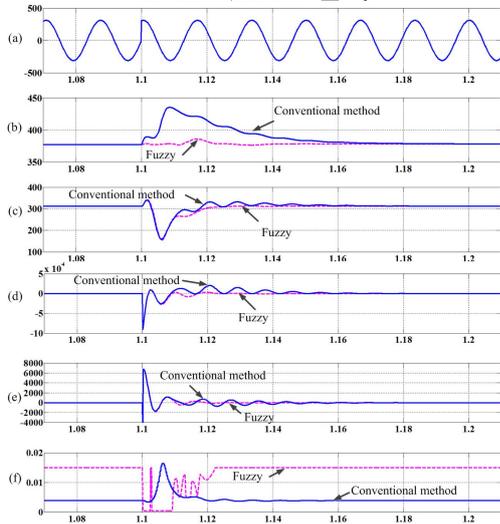


그림 4 주파수 변화 시의 FLL 성능  
 (a) 전원전압 (b) 추정된 중심주파수 (c) Eeq (d) 주파수 오차  
 (e) 주파수 오차 변화량 (f) FLL 적분기 이득

그림 4는 1.1s에서 전원 전압의 주파수가 60Hz에서 60.2Hz로 변할 때 기존의 방법과 퍼지를 이용한 가변이득방법을 비교한 파형이다. 그림 4(b)는 추정된 중심 주파수를 퍼지를 이용한 방법이 더 빠르게 변화된 값으로 수렴하고 있음을 나타낸다. 그림 4(d), (e)는 주파수 에러와 그 변화량이 기존의 방법보다 더 빠르게 0으로 수렴하며, 전원 위상각으로 동기좌표계로 좌표변환 한 Eeq 또한 빠르게 최대값에 수렴함을 그림 4(c)로 알

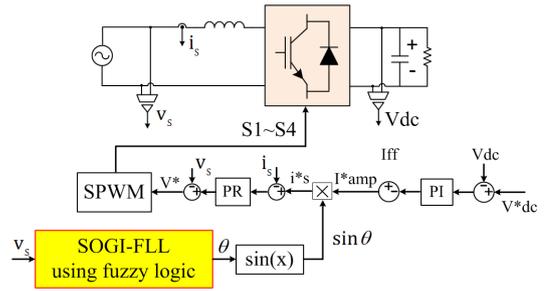


그림 5 단상 PWM 컨버터 제어블록선도  
 Fig 5. Single-phase PWM control block diagram

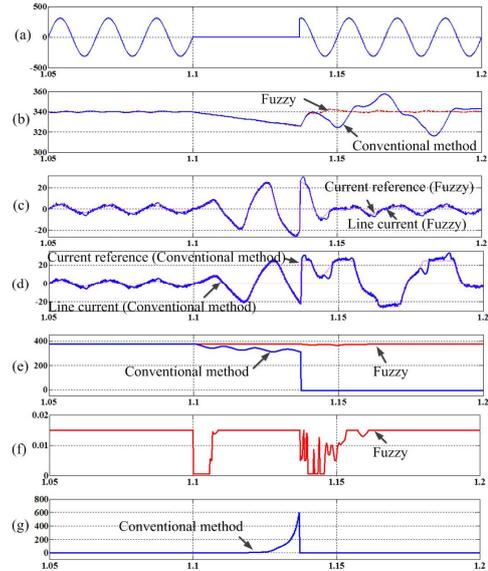


그림 6 전원 이상시 단상 PWM 컨버터의 제어성능  
 (a) 전원전압 (b) 직류링크 전압 (c) 전류제어성능 (퍼지) (d) 전류제어성능 (기존의 방법) (e) 추정된 중심 주파수 (f) FLL 적분기 이득 (퍼지) (g) FLL 적분기 이득 (기존의 방법)

수 있다. 그림 4(f)는 FLL 적분기의 변화하는 이득을 나타낸다. 그림 6은 제안된 FLL방법을 단상 PWM 컨버터 제어에 적용한 결과 파형을 보이고 있다. 1.1s에서 1.137s 동안 전원전압 크기가 0에서 본래의 값으로 회복될 때 기존의 방법은 변화되는 주파수를 추정하지 못하여 잘못된 전류 지령치가 발생한다. 따라서 직류링크 전압제어에 문제가 발생한다. 하지만 퍼지를 이용한 방법은 위의 상황에도 안정적으로 제어가 됨을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 계통 주파수를 보다 빠르게 추정할 수 있는 방법을 제안하였고, 모의실험을 통하여 기존방법과 제안된 방법을 비교함으로써 개선된 성능을 입증하였다.

표2. 시스템 파라미터

k	1.0	Vsource	220[Vrms]	L	3[mH]
$\Gamma$	46	Vdc link	340[V]	C	4700[uF]

### 참고 문헌

[1] M. Ciobotaru, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "A new single phase PLL structure based on second order generalized integrator", in *conf. Rec. IEEE PESC*, pp.1-6, Jun.2006.  
 [2] R. Teodorescu, M. Liserre, and P. Rodriguez, *Grid converters for photovoltaic and wind power systems*, WILEY, Ch.4, 2011.