

# 주파수 측정을 위한 개선된 알고리즘 개발

오 준식, 김 레오, 허 재성, 박 재균, 오 용택  
한국기술교육대학교  
e-mail: waragood@kut.ac.kr

## The development of improved algorithm for accurate and fast frequency measurement

Junsik Oh, Leoh Kim, Jaeseong Heo,  
Jaegyun Park, Yongtaek Oh  
Korea University of Technology and Education

### 요 약

최근에 전력계통에 전압파형을 검출하기 위해 주파수 계전기가 사용되어지고 있다. 기존에 사용되었던 전자기계식 주파수 계전기는 정확한 측정이 어렵고, 이후 연구 개발된 전자식 계전기는 노이즈와 왜곡에 영향을 많이 받는 단점이 있다. 최근에 개발된 Microprocessor 계전기는 50ms에서 수초 정도의 주파수 측정 시간상의 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 주파수 계전기의 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 개선된 알고리즘을 개발하였으며, Matlab 프로그램을 작성하였다. 작성된 알고리즘의 효용성을 검출하기 위해 임의의 전압파형을 Matlab 프로그램에 입력하여 수행함으로써 정확하고 신속한(약 30ms) 알고리즘의 효용성을 입증하였다.

### 1. 서론

주파수는 전원 시스템에서 중요하게 작용하는 매개 변수이다. 모든 부하와 손실의 합이 시스템에서의 전체 발생량과 같게 되면 전원 시스템에서의 주파수는 일정하게 유지된다. 반면에 전체 발생량이 부하와 손실의 합계보다 더 적으면, 주파수는 감소하게 된다. 이와 반대로, 전체 발생량이 부하와 손실의 합계보다는 더 많으면, 주파수는 증가하게 된다. 주파수가 변동하게 되어 동기를 잃게 되면 탈조현상이 일어나게 된다. 시스템에서 허용할 수 있는 주파수의 변화는 시스템에서 회전하는 장비의 특성에 의하여 결정된다. 즉, 터빈 회전날개가 손상될 수 있는 공진 스피드에서 회전한다면 터빈 회전날개는 파손될 위험성이 있으므로 저주파수 계전기와 과주파수 계전기를 발전소에 설치한다. 저주파수 계전기는 저주파수를 파악하여 주파수를 복구하기 위해 부하를 재분배하거나 발전량을 높일 때 사용되며, 과주파수 계전기는 과주파수 상태를 발견하고 이때 발전량을 줄여 주파수를 일정하게 유지하게 한다. 초기에 사용되었던 전자기계식 주파수 계전기는 설정된 주파수에서  $\pm 0.1 \sim \pm 0.2\text{Hz}$  의 오차 범위가 있어 정확도가 많이 떨어지게 된다. 이후 사용되어진 전자식

계전기는 zero crossing [1] 의 방법을 사용하여 주파수를 측정하였다. 이 계전기는 노이즈와 외형파에 영향을 많이 받는 단점이 있다. 고로, 최근에 사용된 Microprocessor 계전기는 샘플링을 통한 전압값을 디지털 값으로 변환하여 주파수 값을 측정한다 [2,3,4,5,6]. 이 계전기는 주파수를 측정하는데 50ms에서 수 초 정도의 시간이 걸려 시간이 오래 걸린다는 단점을 지니고 있다. 본 연구에서는 주파수 계전기의 개선된 알고리즘을 개발하였으며 또한, Matlab 프로그램을 작성하였다. 작성된 알고리즘의 효용성을 검출하기 위해 임의의 전압파형을 Matlab 프로그램에 입력하여 수행함으로써 개선된 정확하고 신속한 (약 30ms) 알고리즘의 효용성을 입증하였다.

### 2. 제시한 알고리즘

이 기술은 미리 지정한 샘플율에서 전압을 디지털화한 값을 사용한다.  $f_0$  Hz 의 기본 주파수와  $V_p$ 의 첨두값을 가지는 사인파 전압 신호를 가정한다. 신호의 기본주파수 실수부와 허수부를 추출하기 위한 LES filter 설계 과정을 논문 [7]을 참조하여 설계과정에서 아래와 같이 변수를 지정하여 실험을 하였다.

- \*60Hz 한 주기의 window 길이
- \*시간 참조와 window의 중간은 일치
- \*신호는 기본 주파수만 포함하고 있다고 가정
- \*샘플링율은 720Hz

샘플링율은 용도에 의해 수정된다. 신호의 분해과정은 전압파형의 사전 지식에 기초한다고 가정한다. data window 크기와 시간기준을 선택하는 지침은 참고문헌 [7]에 제시되어 있다. 따라서 지정한 변수값으로 정의하고 정현(sine)과 여현(cosine)필터의 계수를 얻을 수 있다.

필터 계수는 data window 내에서 전압신호에 대응하는 샘플에 의해 곱하여지고 그 결과는 합산된다. 정현(sine)필터 계수를 사용한 적과 합산과정은 신호의 기본주파수 성분의 허수부분을 제공한다. 유사하게, 여현(cosine)필터 계수를 사용한 증가와 축적은 신호의 기본주파수 성분의 실수부분을 제공한다. n번째 data window에 대응하는 샘플을 사용해서 구해지는 실수와 허수부분은 n번째 window에 대응하는 기본주파수의 페이지의 위상각  $\Theta_n$ 을 구하기 위해 사용된다. 다음 샘플로 넘어가면 data window는 한 샘플간격만큼 이동한다. (n+1)번째 data window에 대응하는 기본주파수 페이지의 위상각  $\Theta_{n+1}$ 은 (n+1)번째 window의 data와 정현, 여현 필터의 계수를 사용해서 구해진다. 위상차,  $(\Theta_{n+1}-\Theta_n)$ 는 한 샘플링 간격 내에서 페이지의 회전을 의미한다. 이 위상차는 추정주파수,  $\hat{f}$ 를 얻기 위해 식(1)을 이용한다.

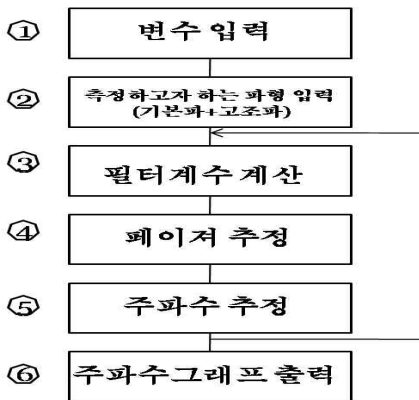
$$\hat{f} = (\Theta_{n+1} - \Theta_n) / (2\pi / f_s) \quad \dots\dots\dots(1)$$

단 :  $f_s$ 는 샘플링 율

이러한 반복된 절차를 통해서 추정주파수를 구할 수 있었다.

**2.1 프로그램의 순서도**

제시한 프로그램의 순서도는 그림1. 과 같다.



<그림1. 프로그램 순서도>

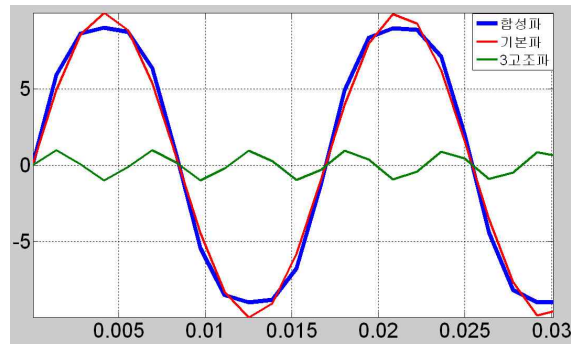
**① 변수 입력**

샘플링율, 시간 범위 등 프로그램에 필요한 변수를

입력한다.

**② 추정하고자 하는 전압 입력**

기본 주파수가 58Hz 인 기본파와 3 고조파, 3 고조파가 합성된 파형으로 그림 2와 같다.



<그림2. 고조파가 포함된 입력파형>

**③ 필터계수 계산**

LES 필터를 사용해서 신호의 기본주파수의 실수부와 허수부를 추출한다.

**④ 페이지 추정**

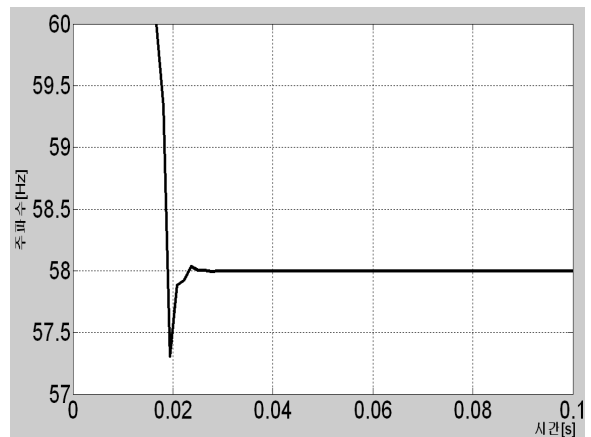
필터계수 계산을 통한 실수부와 허수부를 이용하여 위상차의 위상각을 계산한다.

**⑤ 주파수 측정**

페이지의 위상차 및 식(1)을 이용하여 추정주파수를 구한다.

**⑥ 주파수 그래프 출력**

저장된 추정 주파수를 그래프 상에 표현하면 그림3과 같이 추정 주파수가 25ms 이내에 58Hz로 수렴함을 알 수 있다.



<그림 3. 최종 출력 파형>

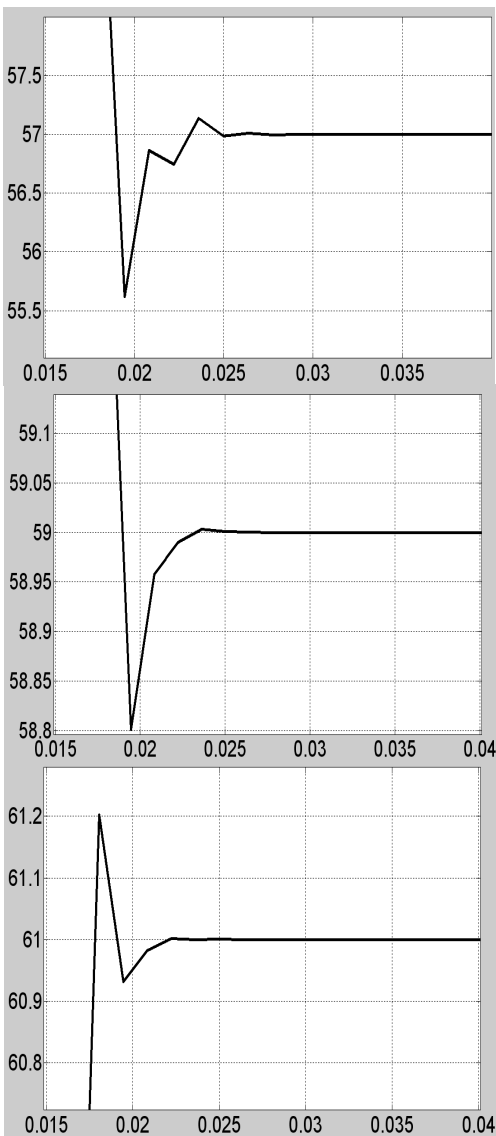
**2.2 Testing**

입력 전압 주파수를 다르게 하여 주파수가 수렴하는 응답 시간을 시험 측정해 보았다. 그 결과는 표.1 과 같이 30ms 안에 수렴하는 것을 확인 할 수 있었다.

<표 1. 입력 주파수에 따른 응답시간>

주파수[Hz]	응답시간[sec]
57	0.0305
58	0.0290
59	0.0285
61	0.0245
62	0.0275
63	0.0295

또한, 시험파형에 대한 파형중에 기본주파수가 57, 59, 62Hz에 대한 주파수 추정과정 수렴 곡선은 그림. 4와 같다.



<그림 4. 시험 파형에 따른 추정 주파수 파형>

### 3. 결론

최근에 전력계통의 전력 평형을 검출하기 위해 사용되어지는 주파수 계전기의 측정을 신속하고 빠르게 수행할 수 있는 알고리즘을 개발하고, Matlab 프로그램을 작성하여 그 효용성을 입증하였다. 본 연구에서 수행한 결과는 아래와 같다.

- ① LES 알고리즘을 적용하여 주파수를 신속, 정확하게 측정하는 알고리즘을 개발하였다.
- ② 작성한 알고리즘으로 Matlab 프로그램을 작성하였다.
- ③ 제안한 알고리즘으로 시험한 입력 데이터들은 수렴속도가 30ms 이내로 신속하게 수렴하였고, 오차 또한 아주 적어 제안한 알고리즘의 효용성을 충분하게 입증하였다.

### 4. 참고문헌

- [1] Westinghouse Electric Corporation, "Applied Protective Relaying", Relay and Telecommunication Div., Carol Springs, Florida, U.S.A., 1982
- [2] Phadke, A.G., Thorp, J., Adamiak, M., "A New Measurement Technique for Tracking Voltage Phasors, Local System Frequency and Rate of Change of Frequency", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 102, No.5, 1983, pp. 1025-1038
- [3] Sachdev, M.S. and Giray, M.M., "A Least Square Technique for Determining Power System Frequency", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 104, No. 2, 1985, pp. 437-443.
- [4] Girgis, A.A. and Hwang, T.L.D., "Optimal Estimation of Voltage Phasors and Frequency Deviation Using Linear and Non-Linear Kalman Filtering", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 103, No. 10, pp. 2943-2949.
- [5] Begovic, M.M., Djuric, P.M., Dunlap, S. and Phadke, A.G., "Frequency Tracking in Power Networks in the Presence of Harmonics", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, NO. 2, 1993, pp. 481-486.
- [6] Sachdev, M.S. and Giray, M.M., "Off-Nominal Frequency Measurements in Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, 1989, pp. 1573-1578.
- [7] Sachdev, M.S. and Ibaribeau, M.A., "A New Algorithm for Digital Impedance Relay", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 98, 1979, pp. 2232-2240.