

DSP를 이용한 개선된 주파수 측정 알고리즘 구현

이정우* · 안종현* · 오용택*

*한국기술교육대학교

Implementation of Advanced Frequency Measurement Algorithm by using Digital Signal Processor

Jung-woo Lee* · Jong-hyun An** · Yong-taek Oh**

*Korea University of Technology and Education

E-mail : beastwoo@kut.ac.kr

요 약

전력 계통에서 계통 주파수는 부하의 변동에 따라 변화되어 연결된 발전기에 영향을 미치고 결국 계통에 커다란 지장을 초래한다. 그러므로 계통 주파수의 빠른 측정과 신속한 조속기 제어는 전력 계통의 안정성과 경제성에서 매우 중요한 부분이다. 과거의 전자기계식 주파수 계전기는 전력 소비가 크며 정확한 측정이 어려웠고, 이후 연구 개발된 디지털 계전기는 노이즈와 왜곡의 영향을 많이 받으며, 최근에 개발된 Microprocessor 계전기는 고가의 장비에 50ms에서 수초 정도의 주파수 측정 시간상의 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 주파수를 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 개선된 알고리즘을 Matlab 프로그램에서 시뮬레이션하고 DSP6713 KIT에 프로그래밍하여 작동하였다. 임의의 전압파형을 DSP에 입력하고 동작시킴으로서 신속하게(약 30ms) 정확한 주파수를 측정하여 알고리즘의 효용성을 구현하였다.

ABSTRACT

A frequency in electrical power system changes by the load fluctuation in utility grid, has an influence on a connected generator, and ultimately brings a big trouble in the power system. Therefore, a quick measurement of system frequency and governor control of power system is a very important factor in the reliability and the economic feasibility.

In this study, An improve algorithm that measures the power system frequency quickly and accurately is suggested, simulated by using Matlab and programmed using C code through DSP6713 KIT. This algorithm is tested to the arbitrary voltage waveform input. The results show that the suggested algorithm is effective in the accurate and quick frequency measurements.

Key word : Frequency, measurement, DSP, power, load

1. 서 론

전력 계통의 주파수는 계통에 연결된 발전기의 회전수에 결정되기에 주파수의 변동은 곧 회전수의 변동과 같다. 발전기의 회전수가 변화하는 것은 발전기 터빈의 입력과 발전기 출력의 균형이 깨어지기 때문이다. 입력이 출력보다 크면 회전수와 주파수는 증가하고, 입력이 출력보다 작으면

회전수와 주파수는 반대로 감소한다. 이때 입력과 출력의 균형이 깨지게 되는 주된 이유는 계통의 부하의 계속되는 변동 때문이다. 부하의 변동에 따라 계통 주파수가 변화되어 동기를 잃게 되면 탈조현상이 일어나게 된다. 계통에서 허용할 수 있는 주파수의 변화는 연결된 원동기(터빈)의 특성에 의하여 결정된다. 터빈 회전날개가 손상될 수 있는 공진 속도에서 회전한다면 터빈 회전날

개는 파손될 위험성이 있으므로 주파수의 편차 허용한도를 결정하여 저주파수 계전기와 고주파수 계전기를 이용해 주파수의 변동을 제어한다. 초기에 사용되었던 전자기계식 주파수 계전기는 설정된 주파수에서 $\pm 0.1 \sim \pm 0.2\text{Hz}$ 의 오차 범위가 있어 정확도가 많이 떨어졌다. 다음에 사용된 전자식 계전기(Zero Crossing)는 노이즈와 외형파에 영향을 많이 받는 단점이 있었다. 최근에 사용되는 디지털 Microprocessor 계전기는 전압값을 샘플링하여 주파수 값을 측정한다 [1,2,3,4,5,6]. 이 계전기는 주파수를 측정하는데 오래 걸린다는 시간상(50ms이상)의 단점을 지니고 있다. 본 연구에서는 주파수 측정을 위한 개선된 알고리즘을 이용하여 DSP (Digital Signal Processor) 6713 KIT에 C언어로 프로그래밍하고 로딩하였다. 그 결과, 임의의 입력 전압파형에 대하여 보다 정확하고 신속하게(30ms) 주파수를 측정하였고 알고리즘의 효율성을 구현하였다.

II. 본 론

사용된 알고리즘은 우선 임의의 기본 주파수를 가진 입력 전압신호를 샘플링 주파수 f_s 로 샘플링하여 디지털 값으로 변환한다. 이 값들은 window 크기 범위의 구간으로 나뉘어 정렬이 되는데 이때, window 구간과 구간의 차이는 계산의 왜곡을 막기 위하여 샘플링 간격 $1/f_s$ 만큼 벌어져 겹쳐진다. 기본 주파수의 실수부와 허수부를 추출하기 위하여 (n) 번째 window 구간이 가진 sampling값을 LES filter를 이용하여 계산한다. LES filter는 참고문헌[7]에 따라 off-line에서 미리 설계하였고 다음과 같은 변수를 사용하였다.

- f_s (Sampling rate) : 720Hz
- window 크기 : 60Hz 한 주기의 13 samples
- 신호는 기본 주파수 성분만 존재한다고 가정(60Hz) 추출된 실수부와 허수부를 계산하여 위상각 Θ_n 을 구한다. 다시 (n+1)번째 window 구간을 계산해 위상각 Θ_{n+1} 을 구한다. 위상차, $(\Theta_{n+1} - \Theta_n)$ 는 한 샘플링 간격 내에서 위상각의 회전을 의미한다. 이 위상차는 추정 주파수, \hat{f} 를 얻기 위해 다음과 같은 식(1)을 이용한다.

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

단 : f_s 는 Sampling rate

구해진 추정 주파수는 LES filter의 기본 주파수 성분의 값이 되어 다시 계산된다. 이러한 반복된 절차를 통해서 추정 주파수에 수렴할 수 있는데, 최종적인 주파수 측정에 걸리는 시간을 단축하기 위하여 한 window 구간마다 5번 이상의 반복 계산이 필요하다.

1. 주파수 측정 알고리즘

본 연구에서 제작한 DSP 적용 주파수 측정 장치의 알고리즘은 다음 그림 1과 같다.

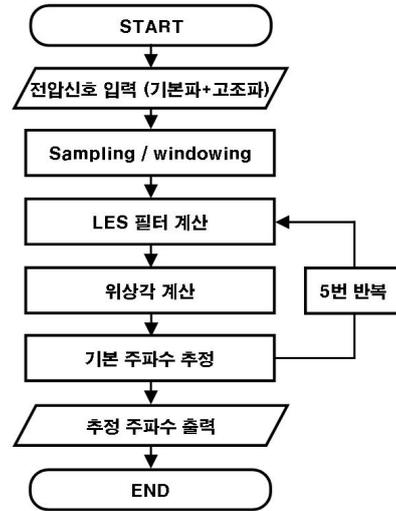


그림 1. 주파수 측정 알고리즘

2. DSP 적용 사례

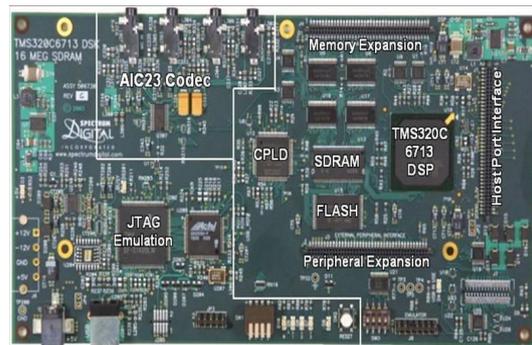


그림 2. DSP6713 KIT

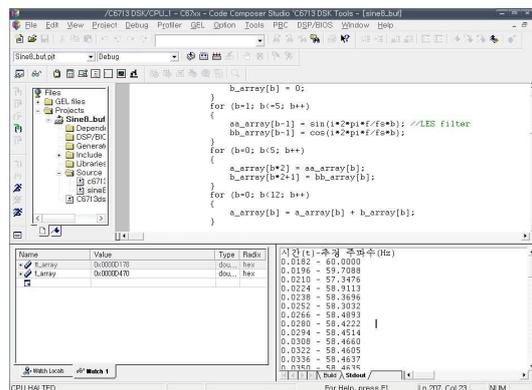


그림 3. C6713 DSK CCS

그림3와 같이 C6713 DSK Code composer studio를 사용해 알고리즘을 C언어로 프로그래밍하고

DSP6713 kit(그림2)에 로딩하여 수행하였다.

① 임의의 전압 신호 입력

입력전압 신호구성

$$= (\text{DC 성분}) \times (\text{기본파 성분}) + (\text{고조파 성분})$$

단 : 기본파 성분의 범위는 57Hz ~ 63Hz

주파수 63Hz인 기본파와 3고조파를 생성하여 사용하였으며 그림 4와 같다.

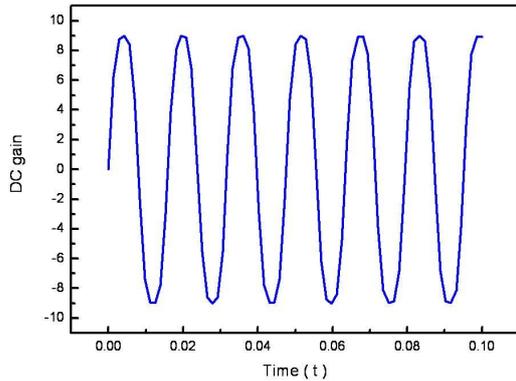


그림 4. 고조파가 포함된 입력신호

② 0.1초의 시간동안 720Hz로 샘플링하고 13개의 sample값 씩 windowing하여 메모리에 저장한다. 총 window 구간의 수는 61개이다.

③ 실수부와 허수부 추출

첫 번째 window 구간의 sample값을 LES 필터에 통과시켜 입력신호 기본 주파수의 실수부와 허수부를 추출한다.

④ 위상각 계산

추출한 실수부와 허수부를 계산하여 위상각을 계산하고 프로그램 시작 시 계산된 기준 기본파(60Hz) 위상각과의 위상차를 계산한다.

⑤ 주파수 추정

계산된 위상차를 식(1)을 사용하여 기본 주파수를 구한다. 구해진 기본 주파수는 다시 LES 필터에 적용되어 반복 계산을 수행하며, 또한 구해진 기본 주파수는 다음 위상차를 이용한 식(1)계산에서 기준 기본파로 적용된다. 이 절차를 5번 반복하여 해당 window 구간의 기본 주파수를 추정한다.

⑥ 추정 주파수 출력

마지막으로 반복 절차를 통해 계산된 각 window 구간의 추정된 주파수 값들이 출력되며 이를 그래프로 그리면 40ms 이내에 63Hz로 수렴하는 것을 그림5와 같이 알 수 있다.

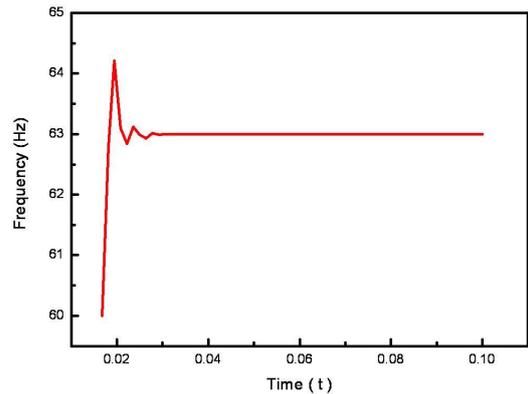


그림 5. 입력신호 주파수로 수렴하는 추정곡선

3. 결과 및 검토

표1은 DSP6713에서 출력한 각 주파수들의 수렴 시간을 나타내고, 표2는 Matlab에서 출력한 주파수들의 수렴 시간을 나타낸다. 표1과 표2를 비교하면 DSP6713은 입력 신호의 기본주파수로 수렴하는데 약 40ms정도가 걸리고 반면 Matlab에서는 약 30ms정도가 걸린다. 10ms의 차이가 나는 이유를 생각해 볼 때 우선 Matlab의 연산 능력이 DSP의 연산 능력보다

| 단위 | 기본 주파수 [Hz] | | | | | |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 57 | 58 | 59 | 61 | 62 | 63 |
| 시간 [ms] | | | | | | |
| 10 | 59.88 | 59.73 | 59.73 | 60.58 | 61.52 | 62.80 |
| 20 | 55.37 | 56.62 | 58.25 | 61.63 | 63.04 | 64.21 |
| 25 | 57.73 | 58.61 | 59.24 | 60.94 | 62.01 | 63.09 |
| 30 | 56.40 | 57.78 | 58.98 | 60.94 | 61.86 | 62.84 |
| 35 | 56.91 | 57.76 | 59.01 | 61.04 | 62.08 | 63.11 |
| 40 | 57.16 | 58.05 | 58.98 | 60.97 | 61.95 | 62.99 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 100 | 57.00 | 58.00 | 59.00 | 61.00 | 62.00 | 63.00 |

표 1. DSP6713의 주파수 수렴 테이블

| 단위 | 기본 주파수 [Hz] | | | | | |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 57 | 58 | 59 | 61 | 62 | 63 |
| 시간 [ms] | | | | | | |
| 10 | 59.71 | 59.33 | 59.37 | 61.20 | 62.89 | 65.29 |
| 20 | 55.61 | 57.03 | 58.79 | 60.93 | 61.63 | 61.90 |
| 25 | 56.86 | 57.88 | 58.95 | 60.98 | 61.90 | 62.73 |
| 30 | 56.74 | 57.92 | 58.98 | 61.00 | 62.01 | 63.03 |
| 35 | 57.13 | 58.03 | 59.00 | 60.99 | 62.00 | 63.00 |
| 40 | 56.98 | 58.00 | 59.00 | 61.00 | 62.00 | 63.01 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 100 | 57.00 | 58.00 | 59.00 | 61.00 | 62.00 | 63.00 |

표 2. Matlab의 주파수 수렴 테이블

뛰어나서 연산 속도의 차이가 발생하였다고 볼 수 있다. 반면 CCS 프로그래밍의 문제일수도 있다. C 언어의 프로그램을 보다 원활하고 빠르게 연산 할 수 있도록 보완을 한다면 Matlab과의 연산 속도 차이를 개선할 수 있다고 생각한다.

IV. 결 론

전력 계통의 안정화와 신뢰도 제고를 위해서 계통 주파수의 정확하고 신속한 측정은 필수 요소이다. 본 연구는 LES filter를 적용한 반복절차 알고리즘을 이용하여 DSP에 적용한 주파수 측정 장치를 구현하였고, 그 결과 보다 신속하고 정확한 주파수를 측정하여 장치의 효용성을 입증하였다. 앞으로 본 연구는 PSCAD 시뮬레이터를 이용하여 실제 계통의 주파수와 유사한 변화 데이터를 장치에 입력함으로써 정확하고 신속한 실시간 주파수 측정 처리 능력을 확인하고자 한다.

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., Djuiric, 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 I3aribeau, M.A., "A New Algorithm for Digital Impedance Relay", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 98, 1979, pp. 2232-2240.