

저가 단상 PMU를 통한 전력계통 전압 파형 측정 디바이스 개발

김민철¹, 이준영², 박민석³, 정한준⁴, 조현석⁵
 경북대학교 전기공학과 학부생

minchol250@gmail.com, lbglyj@naver.com, ccuki0516@knu.ac.kr,
 dwc07311@knu.ac.kr, jhs5898@knu.ac.kr

Development of power system voltage waveform measurement device through low cost single phase PMU

Min-Chol Kim¹, Jun-Yeong Lee², Min-Seok Park³, Han-Jun Jeong⁴, Hyeon-Seok Jo⁵
 Dept. of Electrical Engineering, KyungPook National University

요 약

본 연구는 전력 계통의 불안정성을 해결하기 위한 저비용 PMU의 설계 및 구현에 관한 것이다. 본 논문에서는 단상 전압을 하드웨어적으로 변환하여 Stm32 보드에서 처리한 후, DFT 및 THD 분석을 수행하고, 이를 실시간으로 PDC에 전송하는 시스템을 제안한다. 이 연구의 주요 목표는 기존의 고비용 PMU가 지닌 경제적 한계를 극복하고, 저비용 솔루션을 통해 높은 샘플링 주파수와 정확한 실시간 전압 데이터를 제공하는 것이다.

1. 서론

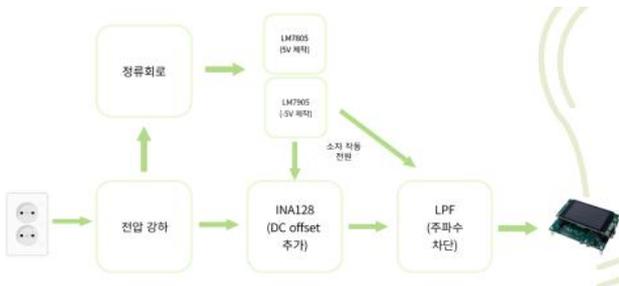
현재 전력 계통에서 재생에너지원의 투입량이 증가함에 따라 계통에서 사고 발생 후 나타나는 더 급격한 반응, 즉 관성이 감소함에 따라 불안정 문제가 나타나고 있다. 이는 전력전자 설비 및 더 빠른 반응을 하는 설비들이 투입됨에 따라 나타나는 반응이며, 우리는 계통에서 사고가 발생할 시 접근성이 좋은 단상 전압원의 반응을 측정해 시스템의 정보를 추출해 계통 운영자에게 정보를 제공하고자 한다.

2. HW 설계

한국에서 콘센트로 들어오는 전압 파형은 단상 220Vac, 60Hz이다. Stm32 보드가 입력으로 받아들이는 정격은 최소 0V, 최대 3V이다. 정격에 맞도록 전압을 변경하기 위해 하드웨어 부분을 설계하였다.

콘센트 전압의 크기를 저항 분배를 통해 1.5V로 강하였다. 그리고 1.5Vdc 전압을 오프셋으로 인가받은 INA128 소자를 이용하여 크기가 1.5V이고 평균이 1.5V인 파형으로 변환한다 [1]. (최솟값이 0V이고 최댓값이 3V인 사인 파형) 해당 파형에서 초고주파의 노이즈를 제거하기 위해 버터워스 4차 LPF [2]를 이용하여 1,047Hz 이상의 파형을 제거한다.

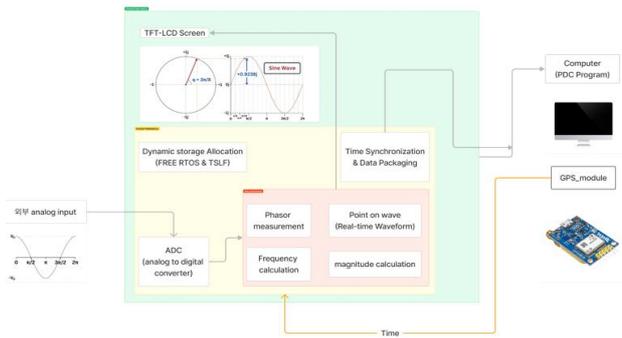
INA128 소자와 UA741 소자(LPF에 사용되는 소자)의 전원으로 $\pm 5V_{dc}$ 를 필요로 한다. 해당 전압을 제작하기 위한 회로를 설계하였다. 우선, 콘센트 전압을 변압기를 이용하여 12Vac로 강하한다. 그리고 전파정류회로를 통해 교류 전압을 직류 전압으로 변형시킨다. 그 후 양의 전압은 LM7805 소자를 이용하여 $+5V_{dc}$ 로 변경하고 음의 전압은 LM7905 소자를 이용하여 $-5V_{dc}$ 로 변경한다. $+5V_{dc}$ 와 $-5V_{dc}$ 는 INA128 소자와 UA741 소자의 전원으로 인가된다. 그리고 $+5V_{dc}$ 를 저항비로 $+1.5V_{dc}$ 로 변형한다. $+1.5V_{dc}$ 는 INA128 소자에서 오프셋 전압으로 사용된다.



(그림 1) HW 플로우차트.

3. SW 개요

HW 회로를 거쳐 0~3V로 강압된 단상 전압 파형은 Stm32 보드의 아날로그 입력으로 들어가게 된다. 이후 Stm32 보드에서, 12bit 해상도의 ADC(Analog to Digital Converter)를 거친 후 [1], 전압 크기, 위상, 주파수, DFT(Discrete Fourier Transform), THD(Total Harmonic Distortion) 등 다양한 분석을 통해 실시간으로 LCD 화면에 나타낸다. 또한, GPS 모듈을 통해 타 PMU와 시각 동기화된 정보가 PDC를 통해 컴퓨터로 전송된 후 PC 화면에 표시된다.



(그림 2) SW 플로우차트

DFT와 THD를 나타내기 위해 ST사에서 제공하는 Stm32CubeIde 프로그램을 이용하여 코딩을 진행하였다. 코딩에 사용한 수식은 다음과 같다.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot n/N} \quad (1)$$

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot (\cos(\frac{2\pi}{N}kn) - jsin(\frac{2\pi}{N}kn)) \quad (2)$$

DFT 계산식은 (1)과 같고, 이 수식을 오일러 공식을 사용하여 코사인 항과 사인 항으로 바꾸어 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때, $X[k]$ 는 주파수 도메인에서의 k번째 성분, $x[n]$ 은 시간 도메인에서의 신호, N은 샘플의 총 개수, k는 주파수 성분 인덱스를 나타낸다.

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (3)$$

식 (3)은 신호에서 발생하는 고조파 왜곡의 정도를 측정하는 지표인 THD를 나타낸다. 기본파를 제외한 고조파 성분 크기의 제곱 합의 제곱근을 기본파 성

분 크기로 나눈 값으로, V_1 은 기본파 성분 크기를, V_n 은 기본파를 제외한 고조파 성분 크기를 나타낸다.

4. 실험 결과

검증을 위해 일반적인 건물의 콘센트에 회로를 연결하여 220V, 60Hz 전압을 측정하였다. (그림5)에서 확인할 수 있듯이, 본 실험을 통해 전압의 크기, 위상 및 전고조파 왜율(THD)이 성공적으로 측정되었음을 알 수 있다.



(그림 3) 왼쪽부터 전압 크기, 위상, 전고조파 왜율(THD)

5. 결론

이번 연구를 통해 분산 전원과 같은 배전 측 및 여러 부하 설비에서 기존의 고가형 PMU가 가지는 경제적 한계와 설치의 어려움을 극복하기 위해 저비용으로 개발된 PMU는 설치 비용을 절감하면서도 정확한 전압 파형 데이터를 제공할 수 있었다.

향후 연구에서는 저비용 PMU를 다양한 지역에 설치하여 전압 파형 데이터를 수집하고 PDC(Phasor Data Concentrator) [2]에 데이터를 통합해 여러 지역에서 측정된 데이터를 비교하고 분석하는 시스템을 구축할 계획이다.

참고문헌

[1] F. L. Grando, G. W. Denardin, M. Moreto, and J. D. P. Lopes "A Pmu Prototype For Synchronized Phasor And Frequency Measurements For Smart Grid Applications", Proc. IEEE 13th Braz Power Electron. Conf. 1st Southern Power Electron. Conf., pp. 1-6, 2015.
 [2] D. Schofield, F. Gonzalez-Longatt and D. Bogdanov, "Design and Implementation of a Low-Cost Phasor Measurement Unit: A Comprehensive Review," 2018 Seventh Balkan Conference on Lighting (BalkanLight), Varna, Bulgaria, 2018, pp. 1-6

* 본 논문은 과학기술정보통신부 대학디지털 교육역량강화 사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.