

DSP를 이용한 고조파 측정 및 분석

이상익* · 유재근 · 전정채
한국전기안전공사

Measurement and Analysis Harmonics Using DSP

Sang-Ik Lee*, Jae-Geun Yoo, Jeong-Chay Jeon
Korea Electrical Safety Corporation

Abstract-Limitation countermeasure on harmonics occurred by power conversion installation, motor speed control equipment, and so on of power system is very important problem, and first of all, accuracy harmonics analysis in system is required for appropriate limitation counterplan. Analysis and judgement on power system harmonic by measurement are needed because analysis by mathematical model generally used for these harmonic analysis, if nonlinear ingredient is included in system, is not relatively correct. So, in this paper, system to measure and analyze harmonic by installing it in a power system, using DSP(Digital Signal Processor), is designed and developed. Also, it's performance is verified by installing it in the system that harmonics occurred.

1. 서 론

전력계통의 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파는 콘덴서 설비, 리액터 등 다른 부하설비에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1~4]. 이러한 고조파 문제의 해결을 위해서 선행하는 이론적 모델의 고조파 해석방법은 계통내에 비선형 요소가 포함될 경우에 계통의 측정결과와 많은 차이점을 보일 수 있다. 따라서 전력계통에 존재하는 고조파를 정확하게 분석하기 위해서는 측정기를 사용하여 계통의 고조파 관련 전력품질을 측정하는 것이 중요하다[1,5].

고조파 측정을 위해 사용되는 시스템은 빠른 연산과 다 채널 입력이 가능하여 여러 지점에서 동시 측정이 이루어 질 수 있어야 한다[5]. 이러한 고조파 측정 시스템의 요구조건을 충족시키기 위해 DSP(Digital Signal Processor)와 같이 고속의 마이크로 프로세서를 이용한 시스템이 개발되어 판매되고 있으나 대부분 외국에서 고가로 수입되고 있는 실정이다. 또한 기본적으로 여러 상의 전압과 전류를 측정하여 고조파 총합 왜형률, 각 차수별 고조파 함유율 이외에도 전압, 전류 크기 및 파형, 유효·무효·피상전력, 역률 등 여러 가지 전원품질 요소들을 계산할 수 있어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 DSP를 이용하여 고조파 관련 전원품질을 측정하여 PC에 의해 데이터를 분석할 수 있는 시스템을 저가로 구성할 수 있도록 설계 및 제작하였고 이를 3상 4선식 시스템에 적용하여 성능시험을 하였다. 이러한 성능시험을 통해 기존 시스템에 비해 유사한 성능을 가지면서도 저 비용으로 구성할 수 있음을 알 수 있었다.

2. DSP를 이용한 측정시스템의 설계

본 논문에서 제안한 고조파 측정시스템은 전압·전류를 측정하는 센서와 필터로 구성되는 신호 입력부, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환부, 연산 기능과 주변장치를 제어하는 디지털 신호처리부, 시스템 인터페이스 처리를 수행하는 PLD부, S-RAM 및

F-ROM으로 구성되는 메모리부, 시스템의 동작전원을 공급하는 동작 전원부, 그리고 분석결과를 출력장치, 본체를 제어하고 측정결과를 표시하는 PC(Personal Computer) 등으로 그림 1과 같이 구성된다. 본 연구에서 개발한 측정시스템에서는 %전압·전류 THD(Total Harmonic Distortion), 전압·전류 파형, 유효·무효·피상전력, 역률 등을 측정하고 측정된 데이터를 PC에 전송하여 분석할 수 있다.

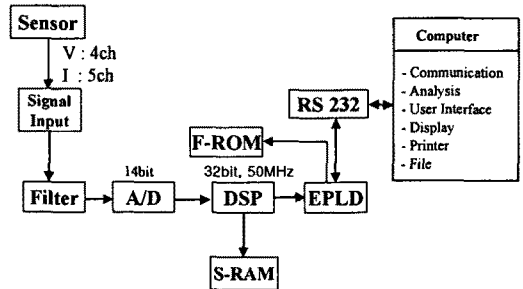


그림 1. 고조파 측정 시스템의 블록선도

2.1 아날로그 신호 입력부

전압신호 입력회로에서 센서에 의해 측정된 전압신호를 시스템에 맞는 신호크기로 바꾸기 위해 용량 3W, 오차율 0.1% 그리고 온도 특성 B급의 고정밀 저항을 이용하여 전압분배기(Voltage Divider)를 설계하였다. 이는 시스템에 사용된 A/D 변환기의 입력신호에 적합한 전압범위로 조정하는 역할을 수행한다. 또한 시스템의 서지보호를 위해 바리스터를 사용하였고 양방향 제너다이오드를 이용하여 과전압으로부터 시스템을 보호할 수 있게 하였다.

A/D 변환과정에서 샘플링 정리에 의해 샘플링 간격(또는 샘플링 주파수)을 정하기 위해서는 연속신호가 갖는 최고의 주파수 성분을 알 필요가 있다. 그러나 센서로부터 입력받은 전압과 전류의 연속신호는 정확한 주파수 대역을 알 수 없다. 따라서 저역통과 필터를 구성하여 신호의 상한값을 설정하고 측정하고자 하는 최고 고조파 입력주파수를 제한하여야 한다. 본 논문에서 제작한 시스템에서는 50차 고조파까지의 주파수를 측정할 수 있도록 버터워스(Butterworth)특성을 갖고 차단주파수가 3kHz가 되도록 R, C, OP-AMP LM2902M을 사용하여 설계하였다.

2.2 A/D 변환부

시스템에 입력되는 전압 4채널과 전류 5채널의 아날로그 신호를 동시에 A/D 변환하기 위해 AC레벨의 아날로그 입력 4채널, Analog Device사의 14bit A/D 컨버터를 3개 사용하였고 샘플링 주파수는 에일리어싱 현상 억제와 FFT를 위해 7.68kHz 주파수로 샘플링 되어

60Hz 기본주파수 한 주기를 128개의 샘플로 분해된다. 또한 A/D 변환부의 어드레스 및 데이터 버스는 소자의 고장이 발생할 경우 소자 국한적인 독립고장으로 국한시키기 위해 8bit 양방향 버퍼(Buffer) 74F245SJ를 설치하여 DSP와 A/D 변환기 사이의 고장발생에 의한 안정성을 확보하였다.

2.3 디지털 신호처리부

디지털 신호처리부의 DSP는 장치 본체의 모든 주변 장치를 PLD를 이용하여 제어하며, A/D 변환기에 의해 검출된 발연속 신호는 UART 및 전압 Buffer IC를 이용하여 RS232 방식으로 PC로 측정데이터를 송신하는 역할을 수행하며, FFT·전력량 계산 등을 수행한다. 본 시스템에서는 TI사의 32bit 부동소수점 연산방식의 DSP를 사용하였다.

또한 측정시스템에서 DSP와 연결하여 동작 오류 및 정전 등의 상황에 대처하여 측정 환경 및 진행 상태를 저장할 수 있는 4kByte 용량의 I²C 통신방식의 EEPROM 24LC32A를 설계·장착하였다. 그리고 시스템 내부의 온도를 측정하여 OP-Amp의 주파수 온도특성을 보정할 수 있도록 IC 디지털 온도 센서를 설계·장착하였다.

이러한 디지털 신호처리부에서 본 시스템에 사용된 DSP가 50MHz의 높은 주파수로 동작하므로 인터페이스 회로가 이에 무리 없이 따라가도록 하기 위해 사용자가 논리회로를 설계하여 프로그램 할 수 있는 PLD를 사용하였다. 또한 DSP의 hardware reset 동작을 위해 외부 스위치로 동작을 제어할 수 있는 reset 전용 IC DS1233Z-6을 사용하였다.

2.4 메모리부

메모리 부분은 데이터의 저장을 위한 주 메모리인 SRAM (K684008C1C-TC15)과 DSP의 프로그램 메모리로 사용되는 F-ROM(Am29F040B), DSP와 연결하여 시스템의 동작 오류 및 정전 등의 상황에 대처하여 측정 환경 및 진행 상태를 저장하기 위해 사용된 EEPROM(24LC32A)으로 구성된다.

2.5 인터페이스부

시스템 본체의 측정데이터와 PC의 제어데이터의 송·수신을 담당하는 부분으로 RS232C 방식을 사용하여 PC로부터 장치의 제어명령을 입력받아 전원품질을 측정하고 측정결과를 PC로 전송하는 동작을 수행하도록 설계·제작하였다. 시스템과 PC와의 데이터 송·수신을 위해 데이터의 직·병렬 변환용 소자로 PC16550을 사용하였고 RS232C 인터페이스를 위해 Maxim사의 MAX232를 사용하였다.

3. 고조파 측정 및 분석

DSP를 이용해 설계한 고조파 측정시스템을 22.9kV를 수전하여 380V로 공급하는 3상 4선식 시스템의 변압기(300kVA) 2차측에 설치하여 측정하였다. 측정시간은 측정대상 계통이 거의 같은 부하가 매일 반복해서 사용되어 동일한 고조파 발생 추이를 보일 것으로 예상되어 1시간 정도만을 측정하여 분석을 수행하였다.

그림 2와 그림 3은 제안된 시스템으로 측정한 삼상의 전압 및 전류파형을 상별로 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 전압보다는 전류파형이 왜곡되어 있음을 알 수 있다. 이는 결국 회로망에 분산 배치되어 있는 전기기기가 고조파 전류 발생원으로 작용하는 것임을 알게 한다.

그림 4에서는 상별 %전압 THD를 그림 5에서는 %전류 THD를 보여주고 있다. 그림 4와 그림 5에서 알 수 있듯이 전압 THD는 1.5~2.5% 수준이지만 전류 THD는 상별로 10~25% 수준인 걸 알 수 있다. 이는 근본적으로 고조파 전류를 감소시켜 전류파형의 왜곡을 줄이고 결과적으로 전압 고조파를 감소시켜야 한다. 이를 위해 전류고조파 발생을 억제하거나 그로 인한 사고 예방을 위해서 적절한 대책의 수립이 필요하다.

그림 6에서는 측정된 상전류가 상별로 나타내었다. 그림 7~9에서는 각 상별 유효, 무효, 피상전력의 파형을 나타내고 있고 그림 10에서는 측정 계통의 역률이 거의 1에 가까운 정도를 유지하고 있음을 알 수 있다.

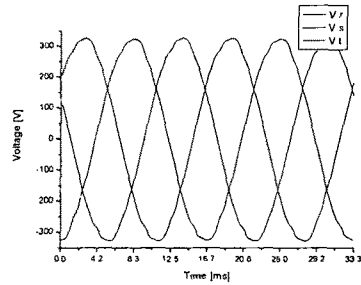


그림 2. 전압파형

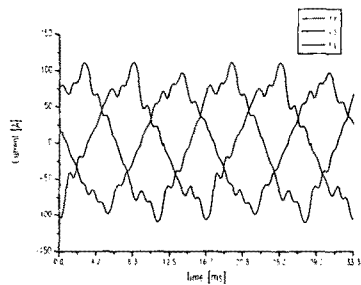


그림 3. 전류파형

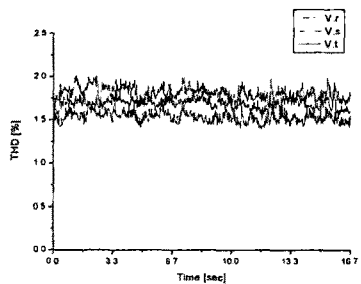


그림 4. % 전압 THD

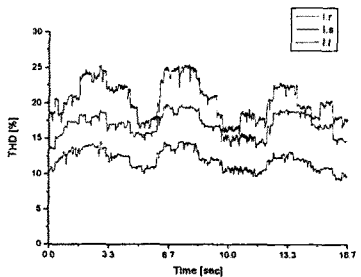


그림 5. % 전류 THD

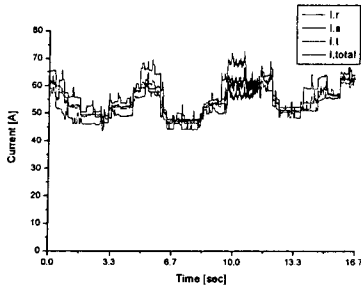


그림 6. 상전류(RMS)

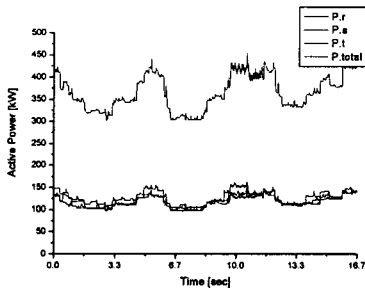


그림 7. 유효전력

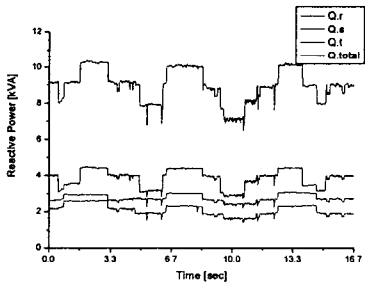


그림 8. 무효전력

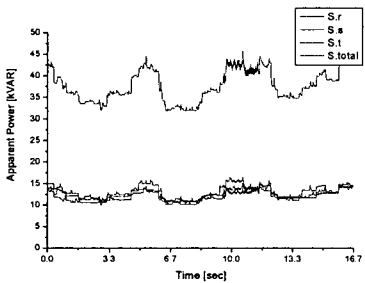


그림 9. 피상전력

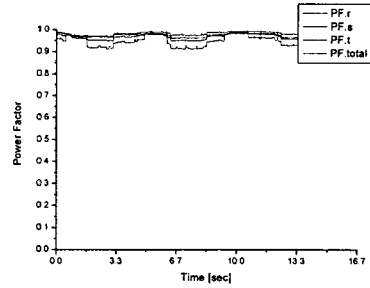


그림 10. 역률

4. 결론

최근, 고조파 관련 전원품질 저하로 인한 전기설비사고가 늘어나고 있어 그로 인한 경제적 손실이 점점 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한 전력산업 구조개편에 의해 전원품질 문제는 소비자가 전기요금과 함께 전력회사를 선택을 결정하는데 있어 중요한 요소가 되므로 고조파 관련 전원품질의 측정 및 분석을 위한 장치가 필요하다. 또한 고조파의 영향, 대책의 수립 및 고조파 관리 규정 수립을 위해서는 고조파의 유입 및 유출 등을 정확하게 측정하고 분석하는 것이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 DSP를 이용하여 전압 4채널, 전류 5채널을 입력으로 하여 고조파 및 전압, 전류, 전력, 역률 등을 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템을 펌프, 전열기, 전등 등 다양한 부하들이 연결되어 있는 22.9kV/380V 변압기 2차측에 설치하여 1시간 동안 측정하고 고조파 결과를 분석하여 개발된 시스템의 성능을 입증하였다. 분석결과 전류 고조파가 10~25% 수준이어서 적절한 대책이 필요한 것으로 나타났다.

본 논문에서 제안된 시스템은 DSP를 기반으로 하여 그 구성이 간단하고 저 비용으로 시스템을 구성할 수 있어 외국의 고가장비를 대체할 수 있으리라 사료된다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- (1) 고조파 저감기술 조사전문위원회, "고조파 저감기술 현황과 전망", 대한전기학회, 1993.
- (2) 한국전기안전공사, "전기사용장소의 고조파 장해분석 연구", 1996
- (3) 관동전기보안협회, "고압 자가용 수용가의 고조파 장해·억제대책 사례 Q&A", 성안당, 2000.
- (4) J. Arrillaga., D. A. Bradley, "Power System Harmonics" John Willy & Sons, 1985.
- (5) 한국전력공사, "특수수용의 공급조건에 관한 연구", 1997