

전기설비의 고조파 분석을 위한 측정 시스템의 개발

유재근*, 이상의, 전정채
한국전기안전공사

Development of Measurement System for Harmonic Analysis of Electric Equipment

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

Abstract - Recently, according to the spread of semiconductor applied technology like motor speed control contrivance, power conversion installation and so on, harmonic ingredients occurred in switching operation flow into a distribution system and increase voltage distortion of distribution system and bring on obstacles like damage, lowering of capability, false operation and so on of various electrical installation. So, in order to consider a countermeasure to limit occurrence quantity of harmonic source, harmonic interception and others, precision measurement and analysis on voltage, current, power, power factor, the each ingredient of harmonic order, the percentage of total harmonic distortion and so forth are needed. In this paper, monitoring system to measure and analyze power quality connected with power harmonics was developed and it's performance is verified by measuring and analyzing three-phase voltage and current of R, S, T in the three-phase and four-wire system using the developed measurement system.

고 이를 펌프, 전열기 및 전동, 보일러 등이 연결되어 있는 3상 4선식 계통에서 R, S, T 3상에 연결하여 고조파 관련 전원품질의 측정 및 분석을 수행함으로써 그 성능을 입증하였다.

2. 고조파의 평가요소

전기신호에서 고조파는 일반적으로 왜형파의 구성성분 중 기본파 이외의 항 즉, 기본파에 대해서 2배 이상의 정수배 주파수를 갖는 파를 의미하는데 일반적으로 전력전자 응용기에 정현파 전압을 공급하면 부하기에 흐르는 전류파형은 비정현파가 되며, 이 파형은 기본파에 동조하여 주기적으로 연속된다. 이 비정현파는 정현파 공급전압과 같은 주파수 성분(기본파 성분)에 정수배의 주파수 성분이 합성된 것으로서 이와 같이 기본파에 정수배의 주파수 성분이 합성된 것을 총칭하여 고조파라 한다.

이러한 고조파를 평가하는데 가장 중요한 척도는 총합 왜형률(THD : Total Harmonic Distortion Factor)과 차수별 고조파 함유율이다. 총합 왜형률은 총 고조파율로서 기본파 성분과 그 외 파형간의 모양의 근접도를 나타내는 지표로서 전압 및 전류 총합 왜형률은 식(1)과 (2)로 나타낼 수 있고 THD가 낮을수록 특성은 우수하다.

1. 서 론

최근, 전동기 속도제어 장치, 전력변환 장치 등 반도체 응용기술의 보급에 따라 스위칭 동작에서 발생하는 고조파 성분이 배전계통에 유출하여 배전계통의 전압 변형을 증대시키고 각종 전기 설비에 손상, 수명저하, 오동작 등과 같은 장애로 인해 전기설비사고가 발생한다. 따라서 고조파 발생원으로부터의 발생량 억제 및 고조파 유출 방지 등 적절한 대책을 강구하기 위해서는 전압, 전류, 전력, 역률, 고조파 차수별 성분 및 고조파 총합 왜형률 등의 정확한 전원품질을 측정하고 분석할 필요가 있다[1-4].

이러한 필요성에 의해 선진국에서는 고조파 측정 및 분석장치를 개발하고 제품화하여 고조파 관련 전원품질의 측정과 분석에 이용함으로써 고조파 관련 기준과 대책을 수립하여 고조파 발생을 억제하고 있다[5-7]. 국내에서는 1980년대 이후 고조파에 대한 문제점을 인식하기 시작하여 고조파의 분포계산 및 장애분석에 관한 연구와 고조파 장애 제거를 위한 대책으로 수동필터, 능동필터 등에 관한 연구가 이루어져 고조파에 대한 인식 확산과 그 대책기술의 발전 측면에는 많은 기여를 하였다[8-9]. 그러나 고조파에 의한 전기설비사고 예방대책들의 효율성은 높이고 향후 고조파 관련 기준을 정립하기 위해 필요한 고조파 측정 및 분석 시스템 개발에 관한 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 전압, 전류, 유효·무효전력, 역률, 전압·전류 왜형률 및 고조파 차수별 성분 등의 정확한 전원품질 분석을 수행할 수 있도록 DSP를 이용하여 다 채널의 고조파 측정시스템을 설계 및 제작하였

$$\text{전압 THD} = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3,\dots} V_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times 100(\%) \quad (1)$$

V_1 : 기본파 전압, V_n : n차 고조파 전압

$$\text{전류 THD} = \frac{1}{I_1} \left(\sum_{n=2,3,\dots} I_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times 100(\%) \quad (2)$$

I_1 : 기본파 전류, I_n : n차 고조파 전류

그리고 차수별 고조파 함유율은 기본파 성분 실효치에 대한 특정 차수 고조파 성분 실효치의 비율로 식(3)과 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\text{전압 차수별 고조파 함유율} = \frac{V_n}{V_1} \times 100(\%) \quad (3)$$

V_1 : 기본파 전압 실효치, V_n : n차 고조파 전압 실효치

$$\text{전류 차수별 고조파 함유율} = \frac{I_n}{I_1} \times 100(\%) \quad (4)$$

I_1 : 기본파 전류 실효치, I_n : n차 고조파 전류 실효치

3. 고조파 측정시스템의 설계 및 제작

전력계통의 고조파를 평가하기 위해서 고조파 측정 시스템은 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 있어야하고 여러 상을 동시에 측정할 수 있도록 다채널의 입력을 가지고 있어야 한다. 또한 고조파

성분은 배전계통의 부하변동에 따라 항상 변동하므로 장시간에 걸친 자동 측정 및 저장이 가능하여야 한다.

이러한 전반적인 사항을 고려하여 본 논문에서 설계 및 제작한 고조파 측정 시스템은 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째는 50차까지의 고조파를 측정 및 연산할 수 있도록 DSP(TMS320C32)를 기반으로 하는 하드웨어 부분으로 현장에서 고조파를 측정하여 디지털 형태로 변환하여 데이터를 획득 및 해석하게 된다. 즉, 센서 연결 부분에 연결된 센서(전류 5채널, 전압 4채널)로부터 측정된 아날로그 신호가 저역통과 필터를 거쳐 14bit의 A/D변환기에 전송되어 약 7.68kHz 비율로 샘플링되고 사이클 당 128포인트의 디지털 샘플을 제공한다. 이렇게 샘플링된 데이터는 DSP에 전송되고 전압과 전류의 각 사이클에 대해 푸리에 변환을 수행하여 주파수 분석을 하게 된다. 이러한 고조파 측정시스템 본체의 실제 보드를 그림 2에 나타내었다.

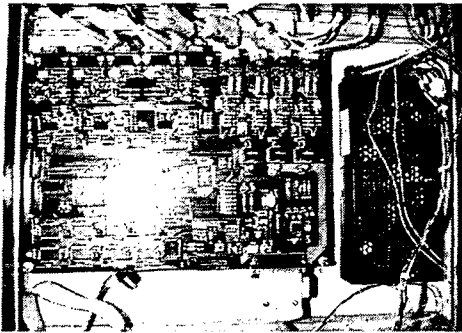


그림 1 고조파 측정시스템 보드

두 번째는 본체에서 측정한 데이터를 RS232C를 통하여 PC에서 획득하여 저장, 분석, 및 프린트 출력 등의 기능을 제공하는 모니터 프로그램으로 Borland C++를 이용하여 측정시스템 전용으로 개발하였다. 그림 2는 측정과 분석 부분으로 나누어진 모니터 프로그램의 초기화면이다. 측정 부분은 전압, 전류, 전력 파형 및 고조파 스펙트럼의 현재 측정결과를 보여주는 스코프 기능이고 분석 부분은 설정시간만큼의 측정이 끝난 후 선택하여 고조파 관련 전원품질의 파형 및 데이터 분석 기능을 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

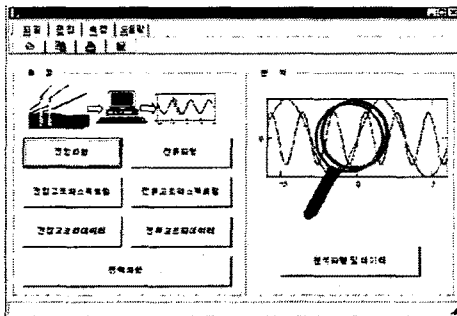


그림 2 측정시스템 운용 프로그램의 전체화면 구성

이러한 고조파 측정시스템은 이동이 가능할 수 있도록 소형으로 제작되었으며 센서부분을 제외한 시스템 구성 비용이 매우 저렴하게 제작될 수 있도록 하였고 표 1에 본 논문에서 개발한 고조파 측정 시스템의 특징을 나타내었다.

표 1 고조파 측정시스템의 특징

구 분	내 용
입력채널수	9(전압 4, 전류 5)
직접입력범위	전압 : 0-440Vrms+15%, 전류 : 0-20A
샘플링 주파수	7.68KHz, 128 s/c
A/D 확도	14bits
고조파 측정	50차
인터페이스	RS 232
동작전원	220V/60Hz
마이크로프로세서	DSP-32bit
운용 소프트웨어	모니터링 프로그램

4. 제안된 시스템을 이용한 측정

고조파 측정시스템의 성능시험을 위해 그림 3과 같이 다양한 부하들이 연결되어 있는 3상 4선식 계통의 전력용 변압기 2차측에서 1시간 동안 고조파 측정시스템을 설치하여 측정 및 성능 시험을 하였다. 이러한 고조파 측정시스템의 측정 및 성능시험에서 측정 및 분석 가능한 항목은 표 2와 같이 다양하나 본 논문에서는 일부 항목에 대해서만 설명하고 나타내지 못한 여러 가지 측정결과들 및 데이터는 사용자가 그림 2의 고조파 측정시스템 운용프로그램에서 원하는 항목을 선택하여 확인할 수 있다.

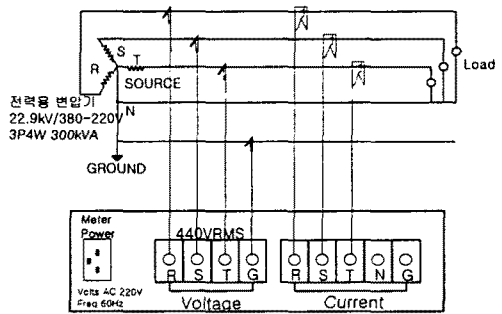


그림 3 측정 결선도

표 2 고조파 측정시스템의 측정 및 분석 항목

구 분	측정 및 분석내용
고조파	50차까지의 전압·전류 고조파 스펙트럼 및 데이터, 전압·전류 고조파의 크기변화 그래프 및 데이터
전압	전압파형 및 데이터, 전압왜형률 및 데이터
전류	전류파형 및 데이터, 전류왜형률 및 데이터
전력	유효, 무효, 순시전력 파형 및 데이터
역률	역률변화 그래프 및 데이터

그림 4와 그림 5는 고조파 측정시스템으로 측정된 전류에 대한 차수별 고조파 스펙트럼중 대표적인 한 상과 데이터를 보여준다. 이러한 결과에서는 전류고조파가 차수별로 어느 정도 포함되어 있는지를 비율로 확인할 수 있고 다른 상에 대한 결과는 해당하는 상의 버튼을 선택하여 확인할 수 있다.

그림 6에서는 차수별 전류고조파의 크기 스펙트럼 중 대표적인 한 상의 측정결과를 보여주고 그림 7에는 전류 고조파의 크기 데이터를 나타낸다. 이러한 결과에서 전류 고조파의 차수별 실제 크기를 확인할 수 있다.

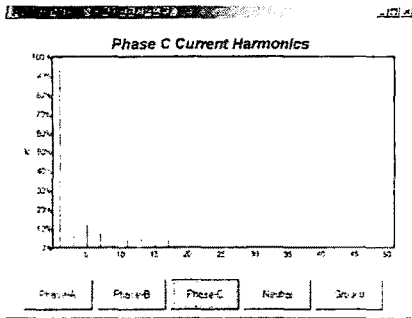


그림 4 차수별 전류 고조파 스펙트럼(Phase C)

Har	Phase-A	Phase-B	Phase-C	Neutral	Ground
1	0.97%	0.87%	2.93%	-	-
3	1.6%	1.6%	1.3%	-	-
2	0.21%	0.457%	0.953%	-	-
3	1.88%	2.76%	8.29%	-	-
4	0.205%	0.561%	0.68%	-	-
5	6.9%	9.23%	11.8%	-	-
6	0.265%	0.465%	0.28%	-	-
7	4.84%	7.27%	5.64%	-	-
8	0.194%	0.544%	0.144%	-	-
9	1.85%	1.36%	3.14%	-	-
10	0.292%	0.444%	0.273%	-	-
11	2.444%	3.51%	4.49%	-	-
12	0.14%	0.233%	0.22%	-	-
13	2.967%	4.25%	4.59%	-	-
14	0.32%	0.19%	0.5%	-	-
15	2.72%	1.03%	1.7%	-	-
16	0.27%	0.26%	0.24%	-	-
17	2.53%	2.62%	3.24%	-	-

그림 5 차수별 전류 고조파 데이터

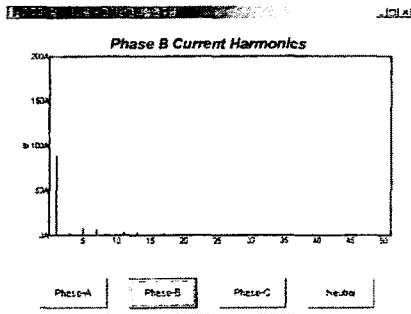


그림 6 차수별 전류 고조파 크기 스펙트럼(Phase B)

Har	Phase-A	Phase-B	Phase-C	Neutral
0	0.763A	0.740A	1.987A	-
1	81.27CA	89.526A	83.412A	-
2	0.013A	0.391A	0.461A	-
3	2.747A	2.498A	5.919A	-
4	0.020A	0.532A	0.074A	-
5	5.173A	6.311A	9.872A	-
6	0.056A	0.417A	0.194A	-
7	3.504A	5.258A	6.709A	-
8	0.158A	0.599A	0.130A	-
9	1.491A	1.171A	2.577A	-
10	0.074A	0.388A	0.228A	-
11	1.986A	3.234A	3.748A	-
12	0.118A	0.200A	0.180A	-
13	2.086A	3.777A	3.795A	-
14	0.262A	0.142A	0.199A	-
15	2.213A	0.919A	1.490A	-
16	2.225A	0.181A	2.202A	-

그림 7 차수별 전류 고조파 크기 데이터

4. 결론

본 논문에서는 전기설비에 공급되는 유효·무효전력, 역률, 전압·전류 왜형률, 주파수 및 고조파 차수별 성분 등의 고조파 관련 전원품질 요소를 분석할 수 있는 측정시스템을 설계 및 제작하였으며 이 시스템은 현장에서 전기설비의 고조파를 측정하는 시스템 본체와 이를 제어하기 위해 노트북 등의 컴퓨터에 설치하는 모니터 프로그램으로 구분된다.

이러한 고조파 측정시스템은 단상 또는 삼상의 모든 결선에서 측정이 가능하고 사용자가 시스템 설치 및 사용을 용이하게 할 수 있도록 설계 및 제작되었고 DSP를 이용해 50차까지의 고조파, RMS 전압, RMS 전류, 와트(Watts), 유·무효전력 및 역률 등을 계산하여 그래프 및 데이터 형태로 표시된다.

본 논문에서 개발한 고조파 측정시스템을 실제 3상 4선식 계통에 접속하여 전압, 전류, 고조파, 전력, 역률 등을 측정 및 분석한 결과 시스템 구성비용에 비해 우수한 성능을 보였다.

향후 본 논문의 결과를 토대로 국내 전원품질 측정 및 분석장비 개발의 활성화와 계측기 생산업체와 연계하여 외국에서 수입되고 있는 전원품질 측정 및 분석장비의 국산화가 될 수 있기를 기대한다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- 1) J. Arrillaga., D. A. Bradley., "Power System Harmonics" John Willy & Sons, 1985.
- 2) E. J. Borrebach, "The Effect of Arc Furnace Loads on Power Systems", Ninth Annual Meeting of the IEEE Industrial Application Society, Pittsburgh, PA, 1974.
- 3) 한국전기안전공사, "전기사용장소의 고조파 장해분석 연구", 1996
- 4) 고조파 저감기술 조사전문위원회, "고조파 저감기술 현황과 전망", 대한전기학회, 1993.
- 5) 관동전기보안협회, "고압 자가용 수용가의 고조파 장해·억제대책 사례 Q&A", 성안당, 2000.
- 6) T. L. Baitch, "The Australian Standard to Specify Network Harmonic Limits", IEEE Trans. Vol. IA-18, 1982.
- 7) ARRILLAGA, "Power System Quality Assessment", Wiley, 2001
- 8) 한국전력공사 기술연구원, "고조파 억제용 Active Filter의 현장 적용 연구", 1991
- 9) 한국전기안전공사, "고조파 억제용 수동필터의 현장적용화 연구", 1999