

RTDS를 이용한 Digital 적산전력량계의 성능 평가연구

강민규*, 박석훈*, 김우현*, 성기철**, 유인근*
*창원대학교, **한국전기연구원

Performance Evaluation Study of Digital Watthour Meter using RTDS

Min-Kyu Kang*, Seok-Hoon Park*, Woo-Hyun Kim*, Ki-Chul Seong**, In-Keun Yu*
*Changwon National University, **KERI

Abstract - This work presents the performance characteristic of digital watthour meter under the harmonics of voltage and current. Each waveform involved is different in magnitude, phase, and THD(Total Harmonic Distortion). It is possible to generate harmonics and control those waveforms using RTDS(Real Time Digital Simulator). Tests were performed on a selected sample of three-phase digital watthour meter which is coupled with data acquisition system via RS 485/232 converter. The percentage error rate of the watthour meter is compared for both sinusoidal and nonsinusoidal cases and the results are given.

1. 서 론

최근 반도체 스위칭 소자들의 보급이 확대됨에 따라 고조파 문제가 점점 심화되고 있으며 이로 인해 발생하는 문제점으로 지적되는 것 중 하나는 각종 측정계기에 오차를 증대시키는 것이다 [1,2]. 정확한 적산전력량을 측정한다는 것은 공급자와 수요자 간의 형평성뿐만 아니라 종합적인 에너지관리의 측면에서도 매우 중요한 것으로 인식되고 있다. 이와 관련하여 국내외에서 발표된 "고조파가 전력량계에 미치는 현상"에 따르면 측정오차가 많이 발생하는 것으로 보고하고 있어 이러한 사실을 뒷받침해주고 있다 [1~3]. 그러나 과거의 평가 방법에서는 측정자료로부터 임의 파형발생기로 고조파 전압 및 전류성분을 포함한 왜곡파형을 발생시켜 이에 대한 영향을 평가하였으나 실제 고조파는 부하형태에 따라 시시각각으로 변하기 때문에 이 방법을 적용하기에는 많은 시간과 노력이 필요하다는 단점이 있다.

한편, 우리 나라에서는 원격검침의 필요성에 따라 이미 전력 다 소비 수용가에는 다수의 Digital 적산전력량계가 설치되었으며 향후에는 이를 확대보급 할 예정이나 이에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 실시간으로 전력계통을 모의 분석, 평가할 수 있는 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용하여 부하변경에 따른 고조파에 의한 영향을 손쉽게 분석할 수 있어 보다 합리적인 특성평가가 가능하였으며 충분한 사례검토를 통해 이의 타당성을 입증하였다.

2. RTDS(Real Time Digital Siltmulator)

RTDS는 전력시스템에서 발생하는 현상을 실시간으로 모의할 수 있는 디지털 시뮬레이터이며 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 정해진 Time-step 이 내에 고속도 연산을 수행한다. 이는 전력시스템의 파라미터 방정식의 병렬특성을 이용

한 것이다.

1) H/W 구성

① TPC(Tandom Processor Card)

- 두개의 독립된 NEC 77240 processor를 채용하여 노드단위로 병렬연산을 수행하며 1개의 rack에는 36의 node(18 TPC × 2 processor)로 제한된다.

② WIC card(Workstation Interface Card)

- 일반 Ethernet 네트워크 지원 및 computer workstation과 RTDS hardware사이의 interface기능을 수행한다.

③ IRC card(InterRack Communications Card)

- 시뮬레이션할 계통의 규모에 따라 하나 이상의 rack으로 구성될 경우 rack과 rack 사이의 정보를 교환한다.

2) S/W 구성

RTDS와 사용자 인터페이스를 제공하는 그래픽 도구로서 PSCAD를 사용하며 회로구성 모듈인 DRAFT, 송전선로와 케이블의 선로정수를 구성하는 T-LINE, CABLE과 프로그램 실행모듈인 RUN-TIME, 그에 따른 데이터를 취득하여 다중그래프 생성하는 MULTI-PLOT으로 나뉘어진다.

3. 실험 구성도 및 실험방법

그림 1은 digital 적산전력량계의 고조파특성 실험을 위한 구성도를 나타낸다.

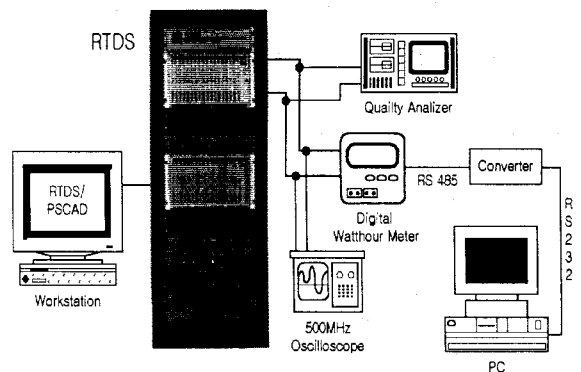


그림 1 실험 구성도

RTDS로부터 원하는 고조파 전압과 전류의 파형을 만들었고 별도의 amplifier를 거치지 않고 3상 Digital 적산전력량계의 low level 입력을 가할 수 있다. low level은 전력량계가 1차 전압, 전류를 받아서 A/D 컨버터를 거치기 전 내부 트랜스듀서에 의한 변환값이다. 전력량계의 입력은 실제 3상 4W-WYE, 380[V], 5[A]의 부하에 연결하여 전압 2.04[V], 전류 1.80[V]

의 low level을 실측하였고 RTDS로 같은 크기의 파형을 재현하였다.

RTDS 각각의 TPC card는 8개의 아날로그 채널이 포함되어 있으며 AC678 컨버터에 의해 피크치 ±10[V]의 출력을 낼 수 있다. 전력량계의 low level값이 ±5[V]이내이므로 임의로 크기의 변화를 가능하게 할뿐만 아니라 고조파의 위상, 크기도 다양하게 선택할 수 있다. 표 1은 RTDS/PSCAD상에서 전압원, 전류원의 고조파 함유량과 크기, 위상을 입력한 데이터를 보여 주며 고조파의 수를 10개까지 입력 가능하다. 즉, 기수 고조파 3~21조파의 경우를 조합할 수 있다.

표 1 RTDS/PSCAD상의 전압원 및 전류원의 고조파 인가

HN1	Harmonic Number	3	
Mag1	Harmonic Magnitude	0.0577	p.u.
Ph1	Harmonic Angle	30	deg
HN2	Harmonic Number	5	
Mag2	Harmonic Magnitude	0.023	p.u.
Ph2	Harmonic Angle	60	deg

각 전압, 전류의 THD(Total Harmonic Distortion)

$$\text{THD}(V) = \frac{100}{V^{(1)}} \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} (V^{(k)})^2} \quad (1)$$

$$\text{THD}(I) = \frac{100}{I^{(1)}} \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} (I^{(k)})^2} \quad (2)$$

(여기서, k는 고조파 차수)

로 정의되며 RTDS에서 생성되는 파형의 정확도를 검증하기 위해 500MHz 오실로스코프 및 Quality Analyzer(3030A)를 사용하여 실측한 결과 RTDS에서 발생된 고조파는 THD가 약 0.1[%] 이내로 측정되어 RTDS의 출력파형은 아주 양호한 것으로 분석되었다. 본 방법에서는 Digital 적산전력량계의 오차 산출이 목적이므로 다음과 같은 [%]오차식을 사용하였다.

$$\text{error} = \frac{\text{고조파 함유시의 전력량} - \text{정현파인가시의 전력량}}{\text{정현파인가시의 전력량}} \times 100[\%] \quad (3)$$

4. 고조파 크기의 변화에 따른 오차율

그림 2는 기존의 임의 파형발생기와 같은 원리이며 단상 전류원의 각 위상변화로 3상 모델을 대신하였다. 전압, 전류의 각 Node는 TPC card에 할당되고 그 순서는 Map 파일에 기록되며 원하는 크기의 아날로그 출력을 낼 수 있다.

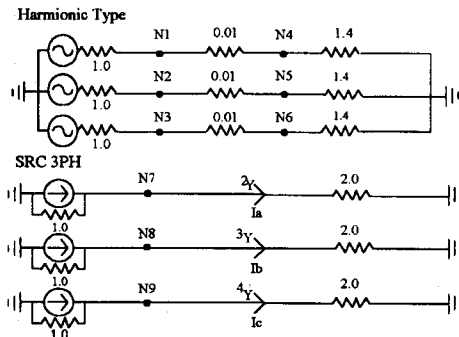


그림 2 전압원, 전류원을 분리한 RTDS/PSCAD상의 회로구성

1) 전압고조파, 전류고조파 각각에 대한 오차율

3,5,7조파의 각각의 경우에서 전압고조파 또는 전류고조파만을 인가하였다.

그림 3와 4는 고조파 함유량 3~100[%]에 대한 오차율을 나타낸다.

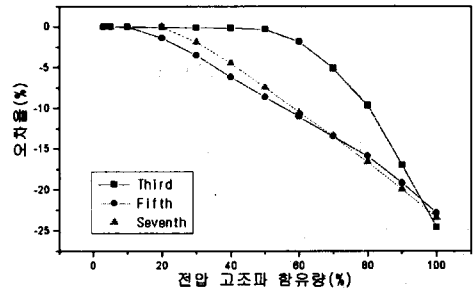


그림 3 전압고조파에 의한 오차율

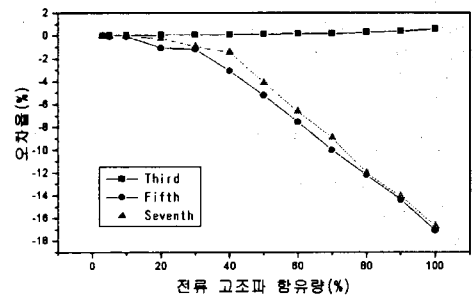


그림 4 전류고조파에 의한 오차율

그림에서와 같이 5조파 및 7조파에서는 고조파 함유량이 많아질수록 이와 비례하여 오차가 증대되었으며 특히 3조파의 경우는 이와는 달리 오차에 대해 변화가 매우 적게 나타났다.

2) 전압, 전류 고조파 동시인가에 대한 오차율

전압고조파의 THD는 10[%]로 고정하고, 전류의 THD를 10~80[%]로 변화시켜 오차율을 측정하였다. 그림 5는 3,5,7,9,11조파에 대한 오차율이고 그림 6은 고조파 차수별 조합에 따른 오차율을 나타낸다.

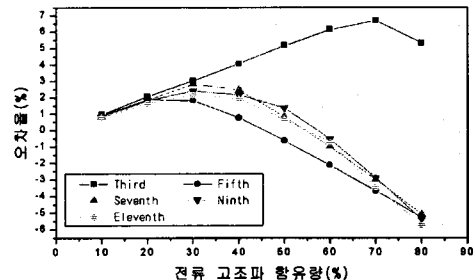


그림 5 전압, 전류 고조파 동시인가시의 오차율

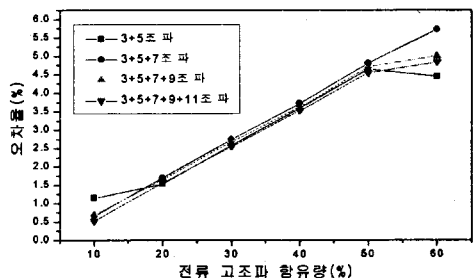


그림 6 고조파 차수별 조합에 따른 오차율

실 제동의 경우 여러 가지의 고조파 차수가 함유되어 있으며 앞의 전압 및 전류 각각에 대한 오차증가와 비슷한 성향을 나타내었다.

5. 고조파 위상각 변화에 따른 오차율

그림 2의 회로에서 고조파 전압 및 전류의 위상각 변화에 따른 오차율을 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 전압 및 전류고조파는 각각 20(%)의 THD를 가지고 -180°에서 180°의 위상변화에 따른 오차율을 측정하였다.

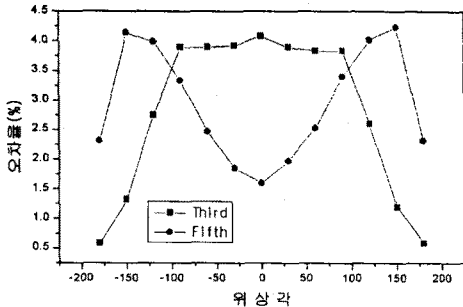


그림 7 3조파, 5조파의 위상변화에 따른 오차율

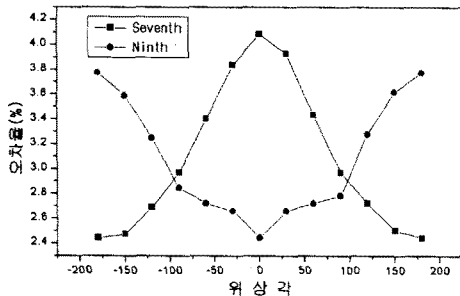


그림 8 7조파, 9조파의 위상변화에 따른 오차율

3,5조파 및 7,9조파는 각각 상하 대칭형태의 오차율을 나타내며 차수가 높아질수록 오차율의 변동폭은 점차 감소됨을 알 수 있다.

6. 부하 모델링에 의한 역률 변화에 따른 오차율

그림 9는 R, L로 구성된 부하를 모델링하고 그에 따른 역률 변화를 주었을 때 각 고조파에 따른 오차율을 측정하기 위한 RTDS/PSCAD상의 회로구성을 보여준다.

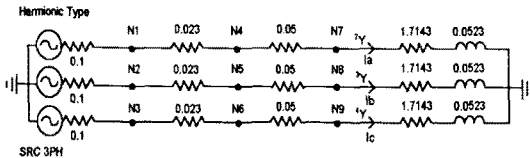


그림 9 R, L부하로 모델링 한 RTDS/PSCAD상의 회로구성

부하의 R, L값을 변화시켜 역률이 1~0.8의 경우 전압원의 고조파 함유율을 10(%)로 고정하고 3조파, 5조파, 3,5,7조파, 3,5,7,9,11조파의 4가지 경우를 측정 한 전류 THD는 그림 10과 같다. 이 그림에서 처럼 전류 THD는 역률이 1일 경우 약 10(%)로 전압과 비슷 하였으나 역률이 감소될수록 전류 THD는 감소함을 알 수 있다.

그림 11은 이에 대한 오차율을 나타낸 것으로 역률 변화에 따라 오차가 커지는 것으로 측정되었다.

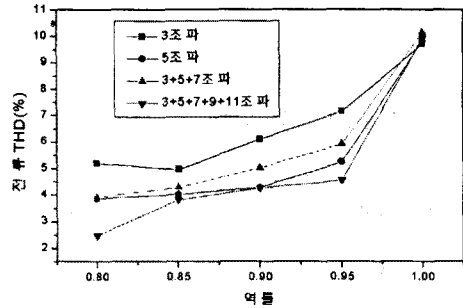


그림 10 10(%) 전압 THD에서의 역률 변화에 따른 전류 THD의 변화

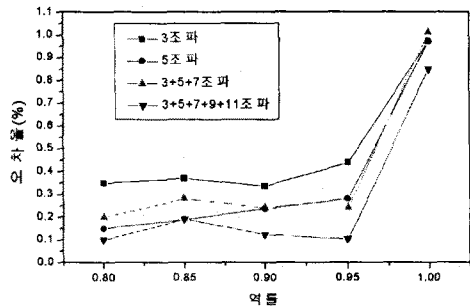


그림 11 역률 변화에 따른 오차율

7. 결 론

본 논문에서는 RTDS를 사용한 Digital 적산전력량계의 고조파 함유전원에 대한 특성해석 방법을 제시하였다. 이 방법은 중래의 임의 파형발생기에 의한 방법보다는 매우 간편하게 고조파의 크기, 위상, 차수 및 역률 변화와 같은 여러 형태의 사례연구를 통해 RTDS의 유용성을 입증하였다. 이 이외에도 실제 고조파는 부하에 의해 결정되므로 RTDS를 이용하여 각종 스위칭소자, 가변속 모터드라이브 등의 모델링이 가능하므로 고조파 영향을 손쉽게 simulation할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 일부지원에 의한 것임

(참고 문헌)

- [1] A. Domijan, Jr.의 5명, "Watt-hour meter accuracy under controlled unbalanced harmonic voltage and current conditions", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No.1, pp. 64-72, January 1996.
- [2] Alexander Domijan, Jr.의 3명 "Nonsinusoidal electrical measurement accuracy in adjustable-speed motors and drives", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.34, No.6, pp.1225-1233, November 1998.
- [3] 장석명 외 4명, "고조파 함유전력 시스템에서의 표준적산 전력량계 특성해석 및 시험" 연. 학협동연구 최종보고서 (충남대학교, 한국표준과학연구원), 1998. 2.