

# 모터 구동장치를 위한 DSP기반 3상 전력품질분석 시스템

김우용\* 정영국\*\* 임영철\*  
\*전남대학교 \*\*대불대학교

## A DSP based Three Phase Power Quality Analyzer for Motor Drives

Yoo-Yong Kim\* Young-Gook Jung\*\* Young-Cheol Lim\*  
\* Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University  
\*\* Dept. of Electrical Eng. Daebul University

### ABSTRACT

This paper presents a digital instrument for the power quality analysis in three phase power system where current waveform is non-sinusoidal. It is based on C31 DSP and on a special high-speed data acquisition system. Voltage and current waveforms are acquired and processed by using a simple average power algorithm. The paper also goes on to discuss the performance of an instrument prototype, both in terms of accuracy and speed of measurement.

### 1. 서론

최근 산업시설에서 가전제품에 이르기까지 전력 외란에 민감한 전자부품 및 장비가 급증함에 따라, 전력의 품질을 실시간으로 분석하여 그 보상대책을 마련할 수 있는 전력분석장치가 필요하게 되었다.<sup>[1]</sup> 특히 모터 구동 시스템과 같은 전력전자 변환장치는 산업현장의 동력제어용으로 광범위하게 보급되어 있으며, 이들이 발생하는 전압과 전류 고조파는 관련 산업계통과 통신시설에 악영향을 미치고 있다.<sup>[2]</sup> 종래의 전력분석장치는 대부분이 송배전 계통에 적합한 구조와 성능을 갖고 있으며 부피가 크고 고가여서 산업현장에 적용되고 있는 저전력용 모터 구동 시스템의 전력분석에 적합하지 못하다. 또한 종래의 대전력용 전력분석장치는 다양한 기능을 갖고 있어, 사용하기 복잡하며 전압과 전류센서들을 장비 외부에 부착하기 때문에 전체 시스템의 면적이 커지며, 이들 장비를 저전력용<sup>1</sup>으로 전환할 때에는 저전류 측정 크래프를 또 다시 마련해야 하는 번거러움이 있어 왔다. 특히 장비의 다양한 기능을 익히기 위한 교육의 투자비용이 크며 현장 근

무자들의 근무 순환이 발생시에는 다른 근무자들이 재교육을 받아야 하는 번거러움이 있어, 현장 근무자들은 이들 장비 사용을 기피하는 경향이 있다. 결국, 모터 구동 시스템에 적합한 저전력용 전력분석장치는 전압과 전류센서를 장비내에 탑재하고 있어야 하며, 전력 품질을 평가하기 위한 파라미터는 종전의 대전력용 장비에 비해 간단하고 사용하기 용이해야 한다. 따라서 본 연구는 이상의 조건을 만족할 수 있는 간단한 전력분석 알고리즘에 의해 모터 구동장치의 전력품질을 평가할 수 있는 DSP 기반 3상 전력분석장치를 개발하였다. 전력분석 알고리즘은 간단한 평균전력이론에 의하며, 독립형 TMS320C31 DSP 보드에 의해 실시간으로 전력을 분석하여, 본 연구의 유용성을 입증하였다.

### 2. 전력품질분석 알고리즘

교류전압  $v(t)$ 가 정현파라 하더라도, 교류전류  $i(t)$ 는 전력전자기기의 비선형 특성으로 인해 왜형이 되며, 이때 전압과 전류의 실효치  $V$ ,  $I$  및 피상전력  $S$ , 유효전력  $P$ 는 다음과 같다.

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)v(t)dt} \quad (1)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)i(t)dt} \quad (2)$$

$$S = VI \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t)dt \quad (4)$$

또한 기본파 무효전력  $Q$ 는 식(5)와 같이  $90^\circ$  이동한 교류전압에 의해서 구해진다

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T v(t - \frac{T}{4}) i(t)dt \quad (5)$$

전력의 각 성분들은, 서로 독립적이며 직교성이 유지되므로 왜형전력  $D$ 는 식(6)으로 구해진다.

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (6)$$

이상의 분해된 전력성분으로 부터, 비선형 부하의 등가변수 G, B, K는 다음과 같으며,

$$B = \frac{Q}{V^2} \quad (7)$$

$$G = \frac{P}{V^2} \quad (8)$$

$$K = \frac{D}{V^2} \quad (9)$$

이들 등가변수에 의해, 전류의 실효치 성분과 전력품질 평가 지수들이 구해진다.

$$I_a = G V \quad (10)$$

$$I_r = B V \quad (11)$$

$$I_d = K V \quad (12)$$

$$I_1^2 = I_a^2 + I_r^2 \quad (13)$$

$$p.f = \frac{I_a}{I} \quad (14)$$

$$\%THD = \frac{I_d}{I_1} 100 \quad (15)$$

종래의 3상 전력분석을 위해 사용되어 오던 p-q 이론과 주파수 영역의 접근법에 비해 제안된 방법은 비교적 간단하고 쉬운 수학적인 디지털 신호처리만으로 단상 뿐만 아니라 3상의 전력분석에 모두 적용 가능함을 알 수 있다.

### 3. 제안된 시스템

#### 3.1 하드웨어

그림1은 제안된 전력품질분석 시스템의 블록선도를 나타내고 있다. 전력품질분석 알고리즘은 TMS320C31-60MHz의 독립형 DSP보드에 의해 수행된다. DSP보드는 4채널의 고속A/D와 4채널의 고속 D/A를 가지고 있으며 A/D는 12비트 분해능과 채널당 8μsec의 변환시간을 가지므로 4채널을 변환할 경우에 29KHz까지의 샘플링이 가능하다. 전압과 전류의 샘플링 주기는 0.1msec이며, 60Hz 전원의 한 주기 동안 167개 가량의 샘플링을 하여 전압과 전류의 실효치를 계산한다. 샘플링은 C31의 내부 타이머 인터럽트에 의하며, 모터구동장치의 전력품질 분석결과는 제안된 시스템에 탑재된 LCD에 의해 실시간으로 표시된다.

그림2는 상용 모터 구동장치와 제안된 전력품질 분석 시스템과의 연결도를 나타내고 있다. 그림2에서 보는 바와 같이, 시스템 부피를 증가시키는 전류클램프와 전압센서를 제안된 시스템은 내부에 탑재하고 있음을 알 수 있다.

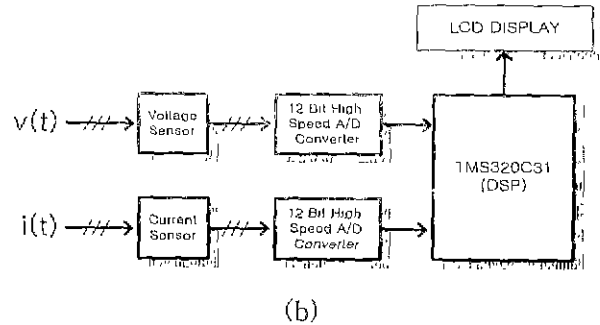
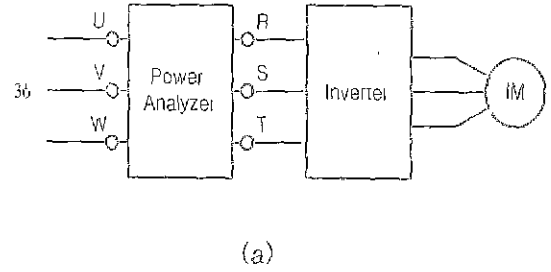


그림1. 제안된 3상 전력품질분석 시스템

Fig.1 the proposed power quality analyzing system.

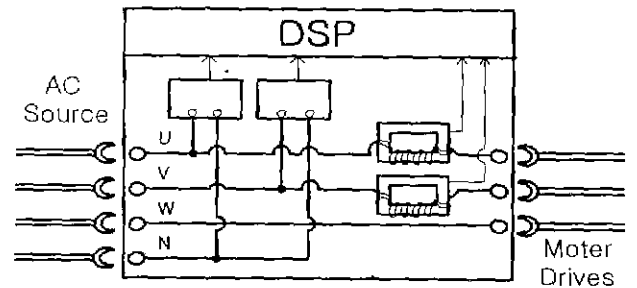


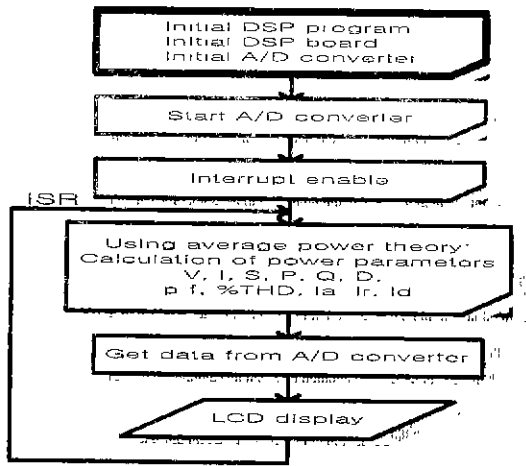
그림2. 제안된 시스템의 전압/전류 센서부

Fig.2 voltage and current sensing part of the proposed system.

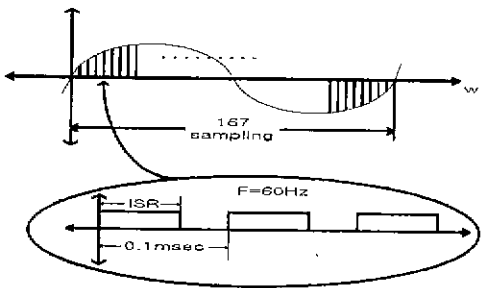
#### 3.2 DSP프로그램

내장된 전압/전류센서에 의해 검출된 전압, 전류 신호로부터 간단한 평균전력 알고리즘을 이용하여 전압전류의 실효치를 계산한다. 실효치 계산을 위해서는 한 주기 동안의 샘플링 값을 이용하며 전압, 전류의 실효치의 곱에 의해 피상전력이 얻어지고 같은 주기 동안의 샘플링 데이터를 이용하여 유효전력이 구해진다. 또한 샘플링된 전압 데이터를 90° 이동시켜 기본과 무효전력을 구하며 식(6)에 의하여 왜형전력이 구해진다. 이상과 같은 방법으로 분해된 전력성분으로 부터 식(10)과 식(12)의 전류 3성분을 구할 수 있으며 최종적으로 모터 구동 시스템의 전력품질 평가지수인 역률, %THD 등을 식(14),식(15)로 구하게 된다. 그림3은 이상의 과정을 수행하기 위한 주프로그램과 인터럽트 루틴을

나타내고 있다.



(a)main flow chart



(b)interrupt service routine

그림3. 주 프로그램의 흐름선도.

Fig.3 Flowchart of main program.

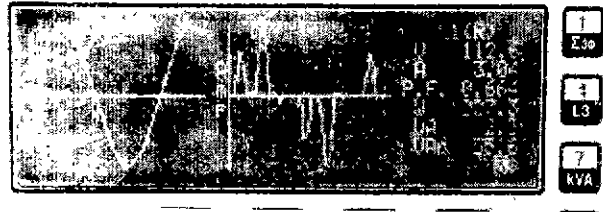
#### 4. 실험결과 및 고찰

표1은 본 연구에서 개발된 시스템의 전력품질 분석결과를 전력분석 상용제품인 VIP SYS과 비교한 것이다. 표1에서 보는 바와 같이 인버터의 출력전압 주파수가 100Hz(2,892rpm)인 정상상태에서 VIP SYS와 개발된 시스템의 U상에 대한 전력분석 결과는 허용범위내에서 일치하고 있음을 알 수 있다. 표1. 제안된 시스템과 VIP-SYS의 전력분석결과

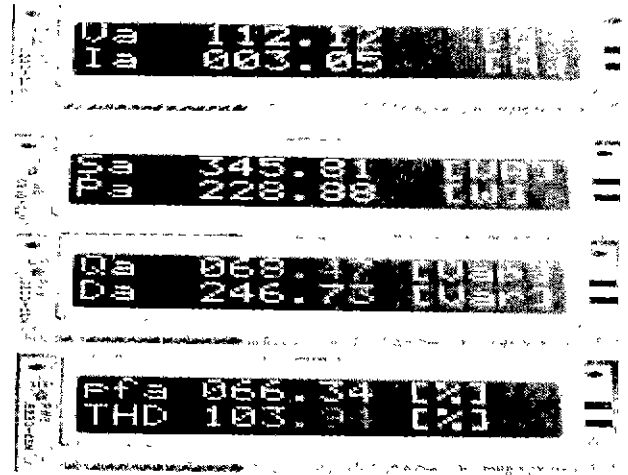
Table1. power analysis results of the proposed

	VIP SYS	proposed system
V[V]	112.6	112.1
I[A]	3.04	3.05
S[VA]	342.3	345.8
P[W]	227.3	228.8
Q[VAR]	55.6	68.4
D[VAR]	250	246.8
$\sqrt{Q^2 + D^2}$	256.1	256.1
p.f	0.664	0.663
%THD[%]	106.7	103.9

### VIP SYSTEM 3 energy analyzer



(a)VIP-SYS

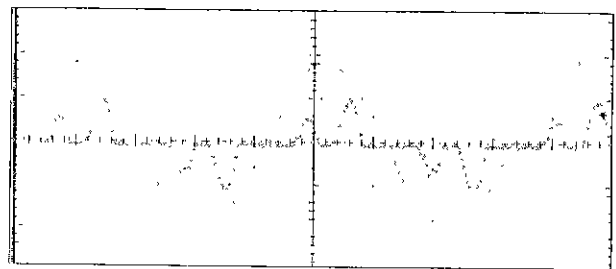


(b)proposed system

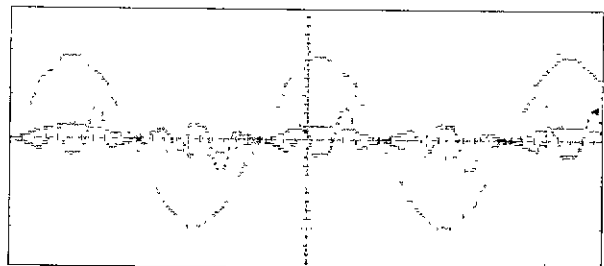
system and VIP-SYS

사진1. 제안된 시스템과 VIP-SYS 전력분석사진

Photo 1. power analysis photograph of the proposed



(a)voltage and input current



(b)waveforms of active and reactive currents

system and VIP-SYS

그림4. 모터구동장치의 입력전류 파형

Fig4. input current waveform of motor drives

사진1은 표1과 동일한 조건하의 실제 전력분석사진이며 그림4는 모터구동장치의 입력전류를 순시유효전류와 순시무효전류로 분해한 파형이다. 그림5는 부하가 3.5A에서 7A로 증가되는 과도상태에서의 U상의 전력품질 분석결과를 나타내고 있다. 과도상태의 전력품질 분석결과를 모터 제어장치의 입력전류-순시유효성분, 순시무효성분의 파형으로 나타낸 이유는 과도상태의 전력분석 결과를 수치화하기에는 어려운 점이 있기 때문이다.

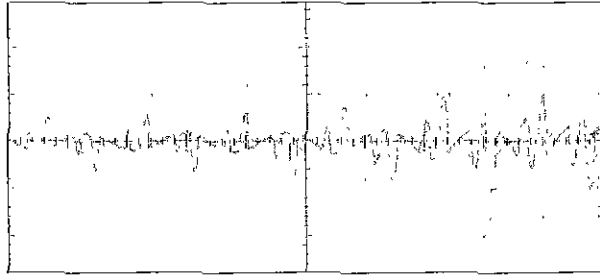


그림5. 부하가 증가하는 과도상태  
Fig.5 dynamic response of the proposed system in increasing load

그림6은 모터 구동장치에 의해, 모터를 30Hz에서 120Hz까지 단계적인 속도변화를 시켰을 때 %THD와 p.f의 변화를 개발된 시스템에 의해서 나타내고 있다. 모터 구동장치의 역률과 %THD는 모터의 속도변화에 따라 서로 반비례함을 알 수 있다.

그림6. 모터속도 변화에 따른 역률 및 %THD의 관계

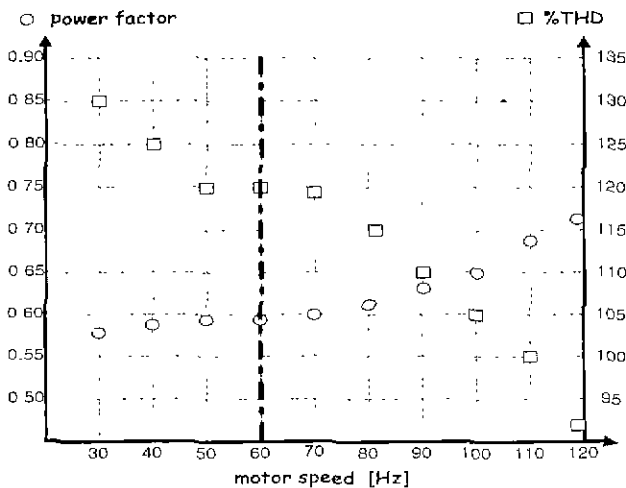


Fig.6 power factor and %THD in variation of motor speed

표2. 모터구동장치와 모터의 사양

Table 2. specifications of motor drives and motor

motor drives	motor
3phase VSI (commercial inverter:MIMOCON)	3phase, squirrel cage type induction motor, 4pole.1HP(0.75KW) 3.5A/2.0A

표2는 본 연구에서 사용된 모터구동장치의 사양을 나타내고 있다.

## 5. 결론

본 연구에서 개발된 장치는 독립형 TMS320C31 DSP 보드에 의해 전력분석과정을 완전 소프트웨어화 하였으며, 3상 전압과 전류센서는 모두 전력분석 장치내부에 탑재하여 전력분석시스템을 저가격화 및 소형화 하였다. 전력품질 분석 알고리즘은 시간영역에서의 전압과 전류평균이론이며 간단히 C-언어에 의해 구현하였고 전력분석 결과는 LCD 화면에 의해 실시간으로 출력하였다. 종전의 대전력용 전력분석장비에 비해 사용하기 쉬우며, 설치공간과 가격이 크게 감소되므로 모터 구동 시스템에 적합한 저전력용 전력품질 분석장비임을 확인할 수 있었다. 연구의 결과는 현재 국내 전력소모의 절반 이상을 차지하고 있는 모터 구동장치의 전력품질 분석기술과 계측 분석된 전력을 제어하기 위한 기술축적에 중요한 의미를 가질 수 있을 것이라 사료된다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과임.

## 참고 문헌

- [1]Y.G.Jung, Y.C.Lim, "A DSP Based Power Analyzing and Control System Using Three-Dimensional Current Coordinates", IEEE IECON,(TAIWAN), pp.1094-1099,1996.
- [2]H.Akagi,"Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. on Industry Applications, vol.IA-20, no.3, pp.625-630,1984.
- [3]한국전력공사 전력경제처, 모터 제어장치 보급 및 사용 행태 조사연구,1997.
- [4]G.Bucci, C.Landi,"On-Line Digital Measurement for the Quality Analysis of Power Systems Under Nonsinusoidal Conditions", IEEE Trans. on Instrument and Measurement, Vol.48, No.4, 1999
- [5]L.Cristaldi, A.Ferrero,"Measuring Equipment for the Electric Quantities at the Terminals of an Inverter-Fed Induction Motor", IEEE Trans. on Instrument and Measurement, Vol.45, No.2,1996