

인터넷을 이용한 전력품질 진단시스템

김홍균, 이진목, 최재호
 충북대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

PQ Analysis System Using Internet

Houngkyun Kim, Jinmok Lee, Jaeho Choi
 School of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University

Abstract - 전력품질 진단장치 개발을 위한 Hardware를 DSP를 이용하여 설계하였고 Software에서는 Sag, Swell, Interruption, Overvoltage, Undervoltage, Harmonic을 검출할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 또한 검출된 진단Data는 Network를 이용하여 원 거리에 있는 PC에서 Monitoring 함으로써 Field System의 전력분석에 효율적임을 증명하여 보였다.

1. 서 론

전력품질 진단시스템(Power Quality System)이란 용어가 산업계에 일반화되기 시작한 것은 90년대 접어들면서부터이다. 1980년 초, 전력품질에 대한 문제가 학계에 보고 되면서부터 비로소 여기에 대한 연구가 진행되기 시작하였다. 이것은 컴퓨터의 발달과도 밀접한 상관관계를 갖고 있다. 산업이 현대화 되면서 시스템에 들어가는 소자들의 성능은 상상할 수 없을 정도로 고도화 되고 있다. 이것의 다른 의미는 고속으로 동작되는 소자에 작은 트러블이 발생한다고 하더라도 시스템전반에 걸쳐 전체적으로 치명적인 영향을 줄 수 있다는 것을 암시한다. 실제로 Data Sheet상의 MPU 및 각종 Controller에 대한 Power Tolerance를 살펴보면 일반적으로 5%에서 10% 이내를 만족시킬 것을 요구하고 있다. 80년대에는 IBM 286급을 Main System으로 사용하거나, Z80 CPU를 사용한 실험장비가 주를 이루었고 점차 반도체 및 컴퓨터 기술의 진보로 인하여 최근에는 1500M FLOATS (초당 1500만회 소수점연산) 가 넘는 고성능 전용 DSP를 사용한 시스템도 출현하고 있는 실정이다. 이것은 산업 현장에 사용되는 기기들의 눈부신 진보를 나타내기도 하지만, 이와는 반대로 전력품질에 대한 소비자의 요구 및 산업 환경이 상대적으로 상상할 수 없을 정도로 민감해지고 까다로워졌다는 것을 의미한다. 비근한 예를 들면 필드에서 시스템제어 용도로 가장 많이 사용하는 MPU로는 I80196 또는 I8051을 들 수 있는데, 이와 같은 소자들은 Table 1.에 조사된 바와 같이 공급전압의 10% 안에서 안정된 동작환경을 요구한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로는 UPS(Uninterruptible Power Supply)를 비롯하여 APF(Active Power Supply)등 여러 형태의 고조파 보상장치가 있다. 하지만 이런 보상이 이루어지기 전에 앞서 선행되어야 할 사항이 바로 PQ 분석인 것이다. 분석을 위한 여러 형태의 시스템이 몇몇 메이커에서 출시되고 있지만 가격과 구축방법에 있어서 현격한 차이를 보이고 있다. 전원의 중요성이 더욱 고조되는 요즘 대체에너지자원개발에 대한 노력도 중요하지만 기존 시설에서 발생하는 전원의 근본적인 문제들을 해결하는 방법이 생산성을 증대시킬 수 있는 한 가지 중요한 요소라고 할 수 있겠다.

Table 1. Recommend Operating Condition of Power Supply for Device

Device	Operating Condition of Power Supply	Tolerance Percent
TMS320VC33 (DSP)	1.71V < $T_{pp}(1.6V)$ > 1.69V	10%
K6R4016 (SRAM)	3.0V < $T_{pp}(3.3V)$ > 3.6V	9%
I80C51 (MPU)	4.75V < $T_{pp}(5.0V)$ > 5.25V	5%
I8096 (MPU)	4.5V < $T_{pp}(5.0V)$ > 5.5V	10%
DAC7838 (D/A)	15.25V < $T_{pp}(15.0V)$ > 15.75V	5%
AD9228 (A/D)	4.75V < $T_{pp}(5.0V)$ > 5.25V	5%
I8255 (PPI)	4.75V < $T_{pp}(5.0V)$ > 5.25V	5%

2. 본 론

2.1 시스템 구성

전력계측장비의 네트워크 구성도는 Fig. 1.과 같이 나타낼 수 있다. 측정하고자 하는 지역(Field area)에 Intranet 또는 Internet으로 연결된 전력품질진단장비가 Ethernet 또는 RS232 방식의 통신을 이용하여 Monitoring 하고자하는 시스템에 연결된다. 이것은 분석하고자하는 목적(Sag, Swell, Interruption, Harmonic) 별로 분류되고 이 정보를 바탕으로 Field System의 전력부하 상태를 진단한다.

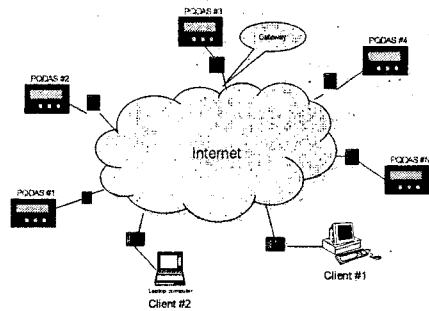


Fig. 1. Network Diagram of System Environment

2.2 진단시스템 일반사양

Table 2. Specification of PQDAS Hardware

SPECIFICATION	CONTENT
Main DSP	TMS320VC33 (150MHz)
Main OP-Code Store Memory	Flash ROM (512KB*8)
Operating Running Memory	High Speed SRAM (512KB*32)
Data Back-Up Memory	Low voltage SRAM (512KB*16)
Ethernet Port	3M & 115K / BPS
Serial Port	RS232 1CH 1200~115000K/BPS
A/D Converter	12Bit / 8CH / 1.6uS Settling Rate
D/A Converter	12Bit / 1CH / 1uS Settling Time
LCD	20*4 Character
Time IC	Calendar & Time Display

Table 3. Measurement and Analysis Items of PQ Data Analysis System

Power Measurement Items	Power Analysis Items
Vrms / Irms / Watts(W)	Voltage Sag & Swell
Total Voltage / Total Current	Interruption
Apparent Power (VA)	Over Voltage & Under Voltage
Power Factor (PF) / Displacement Power Factor	CEEMA Curve
Total Harmonic Distortion (THD)	Events Report
Reactive Power (VAR)	
Crest Factor (CF=Ipeak/Irms)	

전력분석시스템의 일반사양은 Table 2. 에 나타난 바와 같다. Main DSP로는 TI사의 TMS320VC33을 사용하였고 Operand 용 Flash ROM으로는 HY29F040을 사용하여 512K*8 의 Opcode 저장능력을 갖고 있으며 512K*32의 Main Operating RAM 용량을 가지고 있다. 1개의 Serial Port와 1개의 Ethernet Port, 12Bit 454KHz Sampling Rate를 갖춘 8 Channel의 A/D를 내장했으며, 동시에 파형 테스트를 위한 12Bit 1us Settling Time을 갖는 D/A 1 channel을 내장하고 있다. PQDAS의 계속 사양은 Table 2. 에 제시된 바와 같이 Power 계측의 기본사항인 RMS 전압, 전류, 전력, AF(Apparent Power), THD(Total Harmonic Distortion), Reactive Power Factor 및 PQ측정항목인 Sag, Swell, Interruption, Overvoltage, Undervoltage, Harmonic을 분석할 수 있는 기능을 내장하고 있다. Fig. 2.를 살펴보면 DSP 및 주변 장치와의 Interface를 위한 Buffer 기능을 수행하는 Main Part와 Operating Program의 저장 및 Down Load 그리고 Backup 기능을 수행하는 Memory Part, 주변소자의 Addressing 및 Ready Signal 생성 또는 Converting을 하는 Decoder가 있고 외부 신호를 입력받아 50KHz 이상의 신호를 Cutoff 시키는 Low Pass Filter와 ISO Amp로부터 전달된 Analog신호를 Digital로 변환시키는 A/D Converter Part가 있다. Power Part

는 입력 DC9V~12V를 받아 1.8V, 3.3V, 5V, +15V, -15V를 생성하며 전체 전류소모는 800mA 이내이다. Fig. 3. 은 전력분석시스템의 PCB 모양을 나타낸다.

2.2 시스템 소프트웨어 구성

Fig. 4. 에 도식된 바와 같이 PQDAS는 ANSI-C 표준에 근거한 C 언어 및 Assemble 언어로 작성되었다. 주 알고리즘 및 Process Routine는 C언어로 작성되었고 Data Gathering 및 Communication Part는 Assemble언어로 작성되었다. ACTIVE-X는 PQDAS 와 Server의 Interface를 수행하며 경우에 따라서는 WINDOWS 계열의 Program에서 Access 가능하도록 ACTIVE-X를 지원한다. Server에 내장되는 OS는 WIN2000이며 Alarm Report 출력 및 Data Analysis를 위해 MS-SQL DB가

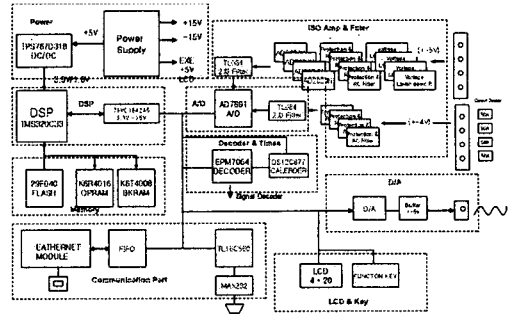


Fig. 2. Internal Block Diagram of PQ Analysis System

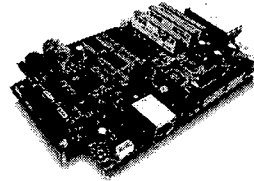


Fig. 3. PCB of Power Quality Data Analysis System

내장된다. Client는 응용 Application이 쉬우며 GUI 작성이 C++보다 비교적 간단한 Visual Basic 및 Delphi를 사용하여 만들어졌다. 하지만 향후 시스템의 이식 및 PDA, Mobile Phone과의 연계를 고려하여 Visual Studio Net을 사용할 계획이다. 이것은 C#을 지원하고 있으며 막강한 이식 율을 겸비한 객체지향의 언어와 C++에 비해 간편한 작업구조를 갖고 있으며 VB와 마찬가지로 Component Works가 가능하다.

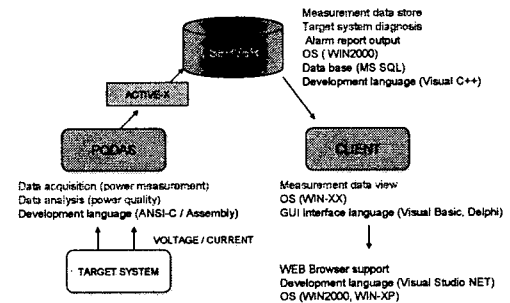


Fig. 4. Block Diagram for System Development

2.3 측정 Algorithm

전압 RMS 계산식은 식(2.1)과 같다.

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt} \quad (2.1)$$

이것을 128개의 Sampling값으로 반주기의 전압 RMS 값을 A/D변환하여 구하면

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{127} V_n^2}{128}} \quad (2.2)$$

전류 RMS 계산식은 식(2.3)과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int^T i^2 dt} \quad (2.3)$$

전압과 마찬가지로 128개의 Sampling 으로 전류 RMS 값을 A/D변환하여 구하면

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{127} I_n^2}{128}} \quad (2.4)$$

한편 RMS값을 계산한 후 이것을 이용하여 Sag 및 Swell을 Flowchart로 표현하면 Fig. 5. 와 Fig. 6. 로 나타낼 수 있다.

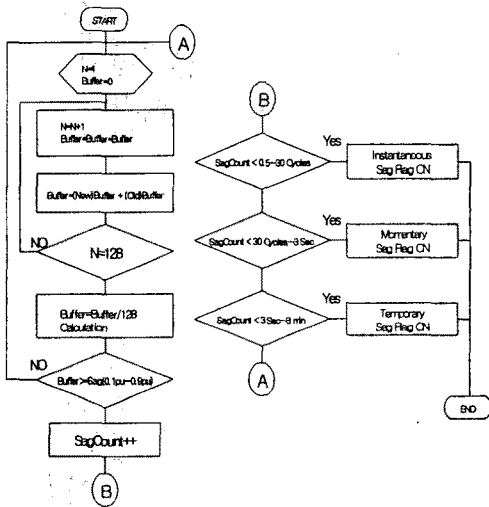


Fig. 5. Flowchart of Sag Detect

Fig. 5. 와 Fig. 6. 는 Sag와 Swell 검출 Algorithm을 순서도로서 나타낸 것이다. 초기화 부분에서는 우선, Counter Value N을 1로 초기화하고 입력 Buffer를 Clear한다. 이후 입력되는 Data를 계속 128번이 될 때까지 적분해 나간다. 이 적분된 Data는 연산 후 Sag, Swell 에서 허용하고 있는 Voltage Magnitude를 만족하는가를 판단 후 1분간 Count 된 값이 어느 영역에 포함 되는가를 다시 한번 검증한다. 이렇게 검증된 값은 해당되는 분류 Flag를 Setting 후 Main Process에 넘겨준다. Interruption, Undervoltage 및 Overvoltage 모두 Sag, Swell과 같은 동일한 Algorithm을 갖는다. 다만 그 주기와 입력 신호의 크기 설정이 다를 뿐이다.

2.5 Graph 로 분석한 PQ Problems

Fig. 6. 은 Short Duration을 갖는 Sag, Swell, Interruption에 대한 RMS 값을 DC 형태의 Graph로 그려 본 것이다. 횡축은 1분을 기준으로 한 Half Cycle이고 종축은 전압의 Magnitude 값이다. Fig. 7.를 보면 Sag (#4, #5)의 지속시간은 1 cycles 이고 크기는 약 0.6 pu 에서 0.7 pu 로 나타난다. 또한 Swell (#6, #7, #8, #9)은 약 0.7 pu 에서 0.9 pu로 나타나고 지속시간은 2 Cycles 로 나타난다. 한편 Interruption (#11, #12)은 0.1 pu 미만으로 지속 시간은 1 Cycle 로 나타난 것

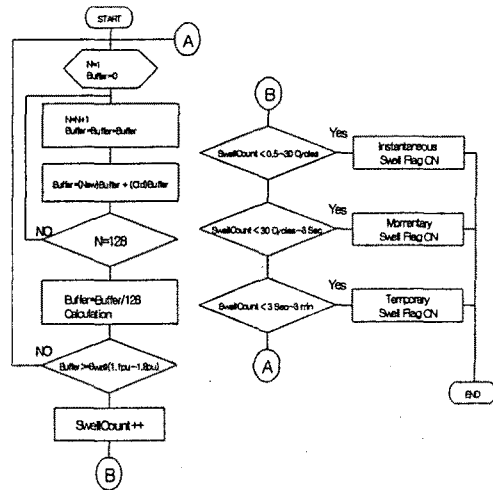


Fig. 6. Flowchart of Swell Detect

을 볼 수 있다. 이것을 기준으로 볼 때 PQ의 Short Duration에 발생되는 Error는 Imin을 기준으로 하여 발생된 횟수를 Count 한다면 쉽게 그 현상에 대한 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 8. 은 Fig. 7. 과 마찬가지로 Overvoltage, Undervoltage, Interruption에 대한 RMS 값을 DC 값으로 나타낸 것인데, 서로 다른 점이 있다면 Long Duration을 갖고 전압의 크기가 서로 다르다는 것이다. 여기에서 #1, #2, #3, #10, #14는 정상상태를 나타내었고 Interruption (#4, #5, #6)은 0 pu 에서 3분간 발생되었고 Undervoltage (#7, #8, #9)는 0.8

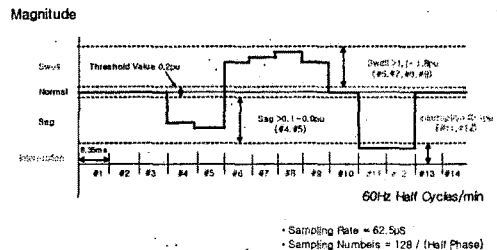


Fig. 7. RMS Graph of PQ Short Duration Problems

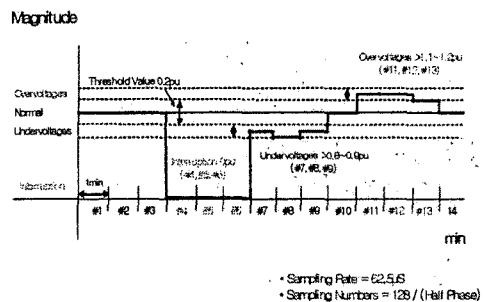


Fig. 8. RMS Graph of PQ Long Duration Problems

pu에서 0.9 pu 사이에서 3분간 지속되었으며 Overvoltage (#11, #12, #13)는 1.1 pu 에서1.2 pu 사이에 3분간 지속 됐음을 알 수 있다. 또한 Graph를 보면

Short Duration 및 Long Duration 모두다 0.2 pu 의 Threshold 영역을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 9.는 Sag 및 Swell을 Monitoring하여 CBEMA Curve로 나타낸 화면이다. Fig. 10.은 상용전원의 220V의 전압에 180Hz의 Harmonic 성분을 더해서 FFT한 것을 Network을 통해 화면에 나타내었다.

(참 고 문 헌)

- [1].Chung-Ping Young, Wei-Lun Jang and Michael J.Devaney, "Real-Time Intranet-Controlled Virtual Instrument Multiple-Circuit Power Monitoring" IEEE Transactions on Instrument and Measurement VOL.49, NO.3, June 2000.
- [2].Giovanni Bucci and Carmine Landi "Digital Measurement Station for Power Quality Analysis in Distributed Enviroments" IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Budapest, Hungary, May 21-23. 2001.

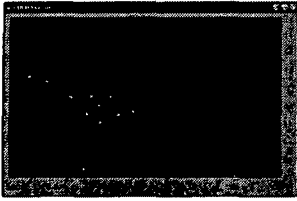


Fig. 9. Screen Form of CBEMA Curve

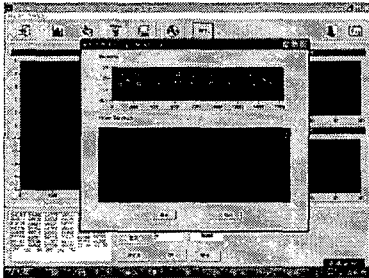


Fig. 10. View of FFT Screen
60Hz(Power) & 180Hz(Noise)

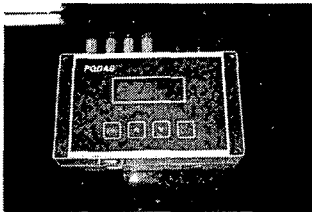


Fig. 10. Picture of Power Quality Data Analysis System

3. 결 론

본 논문에서는 Power Quality 문제로 인한 전자장비 및 Filed System에 미치는 영향에 대하여 구체적인 예를 제시하였다. 또한 RMS 검출방법에 있어서 기존의 평균치 검출방법을 이용하되 Zero Crossing 기법을 사용하지 않고도 정확한 검출이 가능하도록 시스템을 구현하였다. 검출된 Data는 전압의 크기별로 구분하여 Count 값의 가중치에 따라 Sag 혹은 Swell을 검출 할 수 있는 간결한 방법을 사용하여 PQ측정을 하였다. 그리고 구해진 Data는 Internet을 통하여 원격지에서 진단 및 분석을 하였다. 본 논문에 제시된 시스템을 이용하여 Field System의 장비상태를 Network을 통해 분석 할 수 있다는 것을 확인해 봄으로서 향후 전력 분석 장비 개발의 기초를 마련하였다.