

네트워크를 이용한 전력품질 계측에 관한 연구

서용원, 김기철, 김태웅, 김재언
충북대학교 전기공학과

The Study of Power Quality measuring using Network

YONGWON SEO, KICHUL KIM, TAEUNG KIM, JEAEN KIM
Dept. of Electrical Engineering, Chungbuk National University

Abstract - 네트워크 전력계측 장치는 전국의 수용가 측에 설치되며 전력 품질을 감시할 수 있는 단말기와 표준화된 이더넷망(유무선)을 사용한 네트워크 환경과 전국의 전력품질 데이터를 수집할 수 있는 서버로 크게 구성된다. 본 논문에서는 128 샘플링으로 계측되는 전력품질계측 단말기를 구현하고 전력품질 분석 알고리즘을 고안하였으며 이더넷망을 이용하여 전력품질 데이터를 수집하고 수집데이터를 분석하여 전력 품질에 대한 분석을 하였다. 뿐만아니라 전력품질에 영향을 주는 고조파신호와 OVER/UNDER 전압과 전류 및 주파수, SAG, SWELL, INTERRUPT등을 인식하여 해당 데이터를 메모리에 저장하는 일련의 알고리즘을 연구하였으며 이렇게 저장된 정보를 이더넷망에서 무결성과 신뢰성이 있게 고속으로 전송받을 수 있는 통신 프로토콜에 관한 연구가 수행하였다. 뿐만아니라 응용프로그램에서 소프트웨어적인 필터링 기법과 분석알고리즘을 연구하여 이상신호에 대한 원인 판단이 가능하도록 연구한다. 본 논문은 네트워크(이더넷)와 전력품질계측 관련 방법론과 SERVER개념을 도입한 유비쿼터스에서 센서네트워크 기법을 전력산업에 융합하려는 연구에 그 요점이 있다.

1. 서 론

전국의 수용가 측에 본 논문에서 실험한 단말 장비를 설치하고 1차적으로 전력계측 단말기에서 전력신호를 분석하여 실시간 데이터를 서버에 올려주거나 전력품질에 문제가 발생하는 시점들을 저장한다. 서버의 응용프로그램에서는 필요시마다 데이터를 요구하여 해당 단말기가 위치한 지점의 전력의 품질을 확인 할 수 있으며 전력품질이 문제가 발생한 시점들은 해당 파형과 시간간의 정보들을 읽어와 자세한 분석을 할 수 있다.

본 논문에서는 3상이나 단상의 전류와 전압 및 전력을 측정하기 위해서는 매우 크거나 작은 전압 또는 전류의 Analog Signal을 특정 범위 전압의 Analog Signal로 전환한 하는 Analog Circuit을 처친 후 Microprocessor (TMS320C2812) 내부에 부착한 Analog Digital Converter(ADC)를 이용하여 60Hz/50Hz의 1 Cycle을 128 Sampling한 일정 시간 마다 ADC한 결과인 연산에 실질적으로 필요한 Digital Data를 생성하고 실시간으로 생성된 Digital Data를 이용하여 계측 Algorithm 연산을 수행해 실질적인 전압 또는 전류의 값을 계측하였다. 또한 전력을 측정하기 하기위해 계측된 전압과 전류의 값을 연산하여 전력을 계측하였다. 이렇게 계측된 전압, 전류, 전력은 실효치를 산출하고 이외에 전력품질에 관련된 분석을 수행한다.

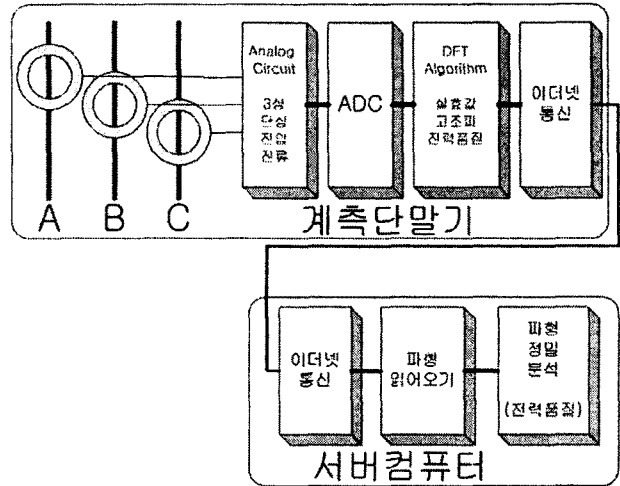
본 논문에서의 계측 Algorithm은 사용되는 DFT Algorithm을 사용하였으며 전압, 전류, 전력의 실효치를 산출하였고 이외 고조파의 주파수 분포를 얻었다. 그리고 실효치를 변화가 뚜렷한 지점 즉 전력품질의 변화가 있는 시점들을 저장하여 응용프로그램에서의 정밀분석용 Data를 생성한다.

계측 Algorithm의 평가는 1 Cycle을 128 Sampling으로 처리한 ADC한 Digital Value를 이용하여 DFT Algorithm 연산을 수행 시켰으며 계측 결과의 정확도와 ADC에 의해 생성된 Digital Data를 연산하여 결과를 얻을 때까지의 시간과 Analog 입력 에 AC 전류를 가변하며 인가때의 선형성을 측정하였으며 여러 번을 계측할 때 결과들의 기준 값과의 분포도를 연구하였다. 또한 Analog Input 단자에 외부 잡음으로 볼 수 있는 Impulse, Surge, 방파, 고조파(3 고조파, 5 고조파, 7 고조파, 9 고조파)를 인가시키고 측정 결과에 미치는 영향과 잡음치리율을 연구하였다. OVER/UNDER 전압과 전류, SAG, SWELL, INTERRUPT등의 계측을 위해 임의의 신호를 인가하여 해당 이상 전력품질 Data 저장되는지 확인 하였다.

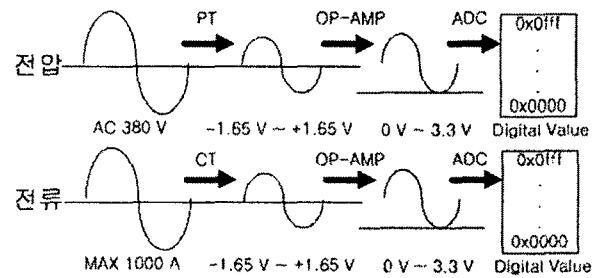
2. 본 론

2.1 System의 구성

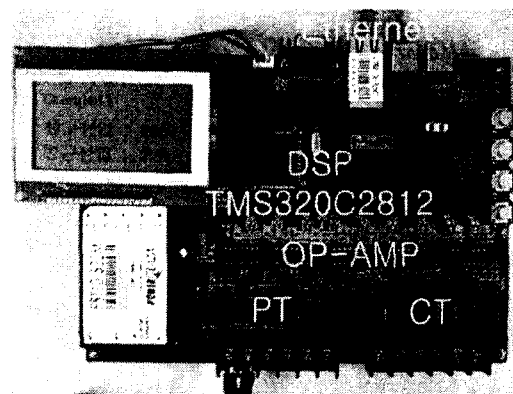
본 논문에서는 계측단말기는 단상과 3상을 계측할 수 있도록 구성하여 단상, 3상 4선식, 3상 3선식에 적용할 수 있다. <그림 1>에서의 전체 구성도에서 3상 AC전원에 흐르는 전류, 전압을 계측하였으며 A상, B상, C상에 흐르는 전류를 CT를 거치고 전압은 PT를 거쳐 OP-Amp를 이용한 Analog 회로에서 나온 0V~3.3V사이의 Analog Signal을 TI사의 TMS320C2812의 Microprocessor내에 있는 12bit ADC를 이용해 변환한 Digital Data로 연산을 수행하여 전압과 전류를 계측하였다. 그리고 G상은 A, B, C상의 위상차를 고려하여 연산을 통해 계측하였다. 이렇게 단말장치에서 계측된 디지털 값들은 이더넷망을 이용하여 원격지의 서버컴퓨터로 이동하고 그곳에서 여러 지역의 전력상태를 확인 할 수 있으며 전력품질이 문제가 발생한 시점은 정밀한 분석을 통해 해당 현상을 파악한다.



<그림 1> System 구성도



<그림 2> System의 Signal 변화



<그림 3> System의 구현

위 그림들에서 보는 것처럼 A상, B상, C상의 전선에 흐르는 전류를 CT(1:2000)를 통해 소신호를 변환시키고 1.65V Offset를 더하여 0V~3.3V의 최종 신호를 만든다. 이후 Microprocessor에 내장된 8CH의 12bit ADC를 이용하여 Digital 값을 얻게 되며 DFT Algorithm의 연산을 수행하여 실효율과 고조파 및 전력품질에 대한 데이터를 계측하고 저장한다. 본 논문에서는 계측 오차 2%이하로 줄이기 위해 0A~40A까지는 기본 신호의 값에 32배한 신호를 만들어 입력을 받았으며 40A~1000A까지는 1배한 신호를

이용하여 처리 하였다. G상은 실시간으로 ADC된 A상, B상, C상의 합으로 계속하였다.

2.2 DFT(Discrete Fourier Transform) Algorithm

정의식 $X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-\frac{2\pi jkn}{N}}$ 에서 N은 Sampling수이며 k

는 주파수 파라미터로 k=1이면 기본파에 해당된다. I_{real} (전류 페이지의 실수 성분)과 I_{imag} (전류 페이지의 허수 성분)를 식1, 식2로 계산한 후 식3을 이용하여 실효치 전류를 구한다. 이때 i_i 는 i번째 전류 순시 데이터이다.

$$I_{real} = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{i_i \cos(-2\pi i/N)}{N/2} \dots (식1)$$

$$I_{imag} = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{i_i \sin(-2\pi i/N)}{N/2} \dots (식2)$$

$$I = \sqrt{(I_{real}^2 + I_{imag}^2)/2} \dots (식3)$$

V_{real} (전압 페이지의 실수 성분)과 V_{imag} (전압 페이지의 허수 성분)를 식4, 식5로 계산한 후 식6을 이용하여 실효치 전압을 구한다. 이때 v_i 는 i번째 전류 순시 데이터이다.

$$V_{real} = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{v_i \cos(-2\pi i/N)}{N/2} \dots (식4)$$

$$V_{imag} = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{v_i \sin(-2\pi i/N)}{N/2} \dots (식5)$$

$$V = \sqrt{(V_{real}^2 + V_{imag}^2)/2} \dots (식6)$$

식7, 식8, 식9는 전력을 구하는 방법이고 식10은 역률을 구하는 방법이다. 식11은 3고조파를 찾는 방법으로 k=3으로 변경하였다. 마찬가지로 5고조파, 7고조파도 k를 변경하여 해당 고조파를 찾을 수 있다.

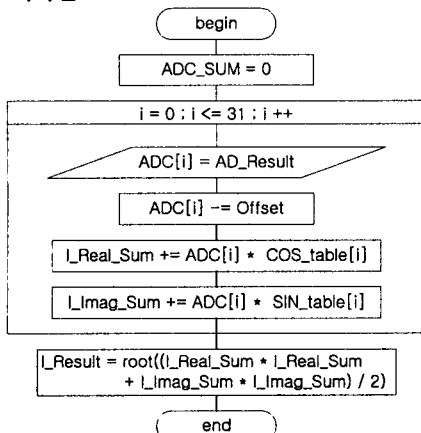
$$P = (V_{real} \times I_{real} + V_{imag} \times I_{imag})/2 \dots (식7)$$

$$Q = (V_{imag} \times I_{real} - V_{real} \times I_{imag})/2 \dots (식8)$$

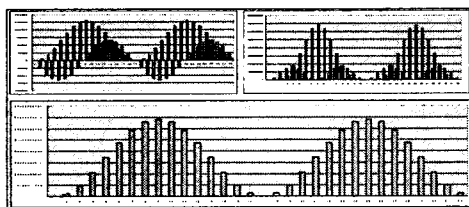
$$VI = V \times I \text{ or } \sqrt{P^2 + Q^2} \dots (식9)$$

$$\cos \theta = \frac{P}{VI} \dots (식10)$$

2.2.1 DFT의 구현

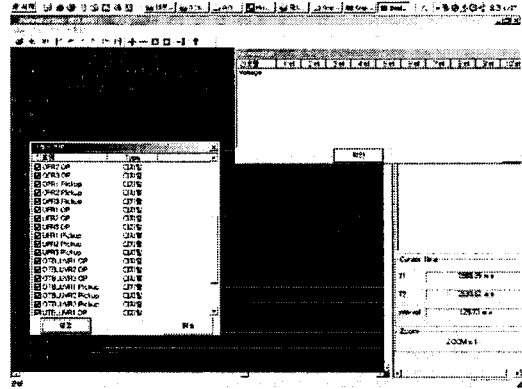


<그림 4> 전류의 DFT의 Flowchart



<그림 5> DFT의 Date 처리

2.3 서버 프로그램



<그림 6> 응용프로그램

본 논문에서의 실험은 N:1 통신을 통한 실험 데이터이어야 하나 실험의 편의상 1:1 통신을 기본으로 실험하였다. 계측 단말기에서도 고조파 분석이나 전력품질이 이상발생 시 Data의 저장을 실행한다. 하지만 해당 데이터의 문제점을 분석하기에는 다소 문제점이 있다. 따라서 계측단말기가 저장한 데이터를 Loading 하여 고조파 분석 주파수 이상분석 전압이상분석을 수행한다. <그림 6>에서는 실험의 한계로 전력품질의 저하 시키는 주파수를 변경하였다. 5 cycle 정도의 주기 동안 전압을 축소 또는 확대시키거나 순간정전 시키는 작업이 다소 문제가 있기 때문이다. Instek사의 AC power Source를 이용하여 전압을 가변하면서 진폭변화의 데이터 분석에서는 원하는 결과를 보았다. Under Frequency나 Over Frequency는 각 상별로 잘 인식하여 처리됨을 알 수 있다.

해당 장비들의 데이터들은 DB를 사용하지 않고 *.dat파일로 저장하여 백업과 데이터 보관에 유용성을 부여 하였으며 해당 Data파일만 있으면 해당 지역이 전력품질에 관련되 정보를 확인 할 수 있다.

2.3.1 Modbus 통신 프로토콜

● 데이터(측정값) 요구

Header	Slave Addr	Function Code	Start Addr	No. of Register	Err Check
None	1	1	2	2	2
	01	04	044C	0015	CRC

● 데이터(측정값) 응답

Header	Slave Addr	Function Code	Byte Count	Data Hi, Lo	Err Check
None	1	1	30	30	2
	01	04	30	()	CRC

3. 결 론

본 논문의 네트워크를 이용한 전력품질 분석 장치를 이용하여 원격지에서 해당 지역의 전력품질을 모니터링 할 수 있다. 계측 단말장치에서 3상이나 단상의 전압, 전류를 Sensing 하고 DFT Algorithm을 이용하여 실효값과 고조파 및 전력품질을 파악하여 저장하는 작업을 수행하여 무결한 Data를 생성하였다. 이때 실효값은 실시간으로 원격지에서 모니터링이 가능하게 구현하였으며 전압, 전류, 주파수가 변화하는 이상동작에서는 해당 파형을 저장하여 Flash Memory 에 저장하였다.

이후 저장된 Data들은 Ethernet망을 이용하여 원격지에서 Loading하고 그래프를 해당 파형을 Display하며 이상 상태에 대한 분석을 보여준다. 고조파번호들과 OVER/UNDER 전압과 전류 및 주파수, SAG, SWELL, INTERRUPT등을 분석한다.

실효치와 주파수를 원격지에서 실시간으로 모니터링 할 수 있으며 전력 품질에 이상이 발생시 128 Sampling으로 파형을 저장하여 사후 전력품질의 이상에 대한 파악을 할 수 있어 전력시스템의 효율을 극대화 할 수 있을 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] Dong-Jun Won, Seung-II Moon, "Determining Optimal Custom Power Devices to Enhance Power Quality", KIEE International Transactions on Power Engineering, Volume 5-A Number 3, pp.280-285, 2005
- [2] Hyen Young Choi, Yang Mo Kim, Gyo Sung Lee, Se Ho Oh, Jung Gyun Park, "Design of a Series Voltage Sag Compensation System in Transmission Line", B: KIEE International Transactions on Electrical Machinery and Energy Conversion Systems, Volume 2-B Number 4, pp.191-200, 2002
- [3] 서용원, 연준상, 양오, "Microprocessor를 이용한 AC Current, AC Voltage의 계측 알고리즘에 관한 연구", 2003년도 대한전기학회 회계학술대회 논문집 2002.7.21-23