

Microprocessor를 이용한 AC Current, AC Voltage의 계측 알고리즘에 관한 연구

서용원*, 연준상, 양오
 청주대학교 이공대학 전자공학과

On the study of measurement algorithm using Microprocessor for AC Current and AC Voltage

Yong-Won Seo*, Jun-Sang Yeon, Oh Yang
 Dept. of Electronic Engineering, Cheong-Ju University

Abstract - 단상 또는 3상의 AC 전원의 전류나 전압 또는 전력을 계측하기 위해 Analog Signal들을 Digital Signal로 변환하여 특정 Algorithm의 연산을 수행하여 결과를 얻는 과정을 Microprocessor를 이용하여 처리하는 방법은 산업현장이나 연구개발에서 흔히 사용하는 방법이다. 본 논문에서는 Microprocessor를 이용하여 보편화된 3가지의 계측 Algorithm인 DFT, True RMS, Summation Algorithm을 사용하여 동일 System에 3상 AC의 전류 부하를 일정 범위에서 가변 하여 인가시키면서 계측 값을 사용하여 Algorithm의 계측 결과의 오차율과 연산에 소요되는 시간과 외부 잡음인 Surge, Impulse, 정전기, 방파, 고조파에 대한 System의 처리 효율을 연구 하였다.

1. 서 론

Three Phase 나 Single Phase의 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 내부나 외부에 부착한 Analog Digital Converter(ADC)를 이용하여 60Hz의 1 Cycle을 32 Sampling한 일정 시간 마다 ADC한 결과인 연산에 실질적으로 필요한 Digital Data를 생성하고 실시간으로 생성된 Digital Data를 이용하여 각 Algorithm 연산을 수행해 실질적인 전압 또는 전류의 값을 계측하였다. 또한 전력을 측정하기 하기위해 계측된 전압과 전류의 값을 연산하여 전력을 계측하였다.

본 논문에서의 Algorithm은 흔히 사용되는 세 종류의 Algorithm인 DFT, True RMS, Summation Algorithm을 사용하였으며 동일 시스템과 부하에 각 Algorithm을 적용하여 계측 결과에 따른 Algorithm의 성능과 특성을 분석하였다. 본 논문에서 사용했던 Algorithm은 실제로 제품 연구개발에서 실험 및 상품화로 검증된 Algorithm들이며 제품화 작업에서 System의 요구조건과 사용 환경을 고려하여 Algorithm을 선택하여 사용 하였으며 Data 처리 능력과 성능 및 계측 결과의 오차율 등을 검증하였다.

각 Algorithm의 평가는 1 Cycle을 32 Sampling으로 처리한 ADC한 Digital Value를 이용하여 Algorithm 마다의 연산을 수행 시켰으며 계측 결과의 정확도와 ADC에 의해 생성된 Digital Data를 연산하여 결과를 얻을 때까지의 시간과 Analog 입력 에 AC 전류를 가변하며 인가하때의 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 잡음처리율을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 System 구성

본 논문에서는 Three Phase AC전원에 흐르는 전류를 계측하였으며 R상, S상, T상에 흐르는 전류를 CT를 거쳐 OP-Amp를 이용한 Analog 회로에서 나온 0V~5V사이의 Analog Signal을 Microprocessor내에 있는 ADC를 이용해 변환한 Digital Data로 연산을 수행하여 전류를 계측하며 G상은 R, S, T상의 위상차를 고려하여 연산을 통해 계측하였다.

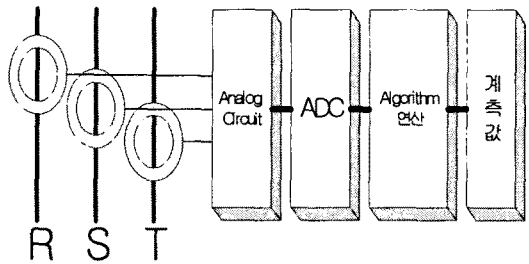


그림1. System 구성도



그림2. R상, S상, T상 Signal

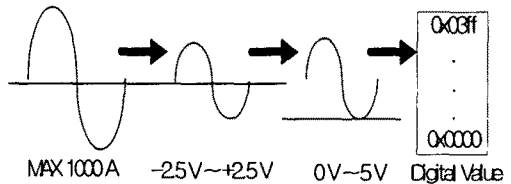


그림3. System의 Signal 변화

위 그림들에서 보는 것처럼 R상, S상, T상의 전선에 흐르는 전류를 CT(1:2000)를 통해 소신호를 변환시키고 2.5V Offset를 더하여 0V~5V의 최종 신호를 만든다. 이후 Microprocessor에 내장된 4CH의 10bit ADC를 이용하여 Digital 값을 얻게 되며 해당 Algorithm의 연산을 수행하여 계측 결과를 산출한다. 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 R상, S상, T상의 합으로 계측하였다.

* 본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터(RRC)의 지원에 의한 것입니다.

2.2 Algorithm

본 논문에서 사용한 Algorithm은 계측에 흔히 사용되는 Summation, True RMS, DFT를 사용하였다. 사용한 Microprocessor가 부동소수점 연산을 하지 못하여 이미 검증된 SQRT 연산을 사용하였다.

60Hz와 50Hz를 구현하였으며 1 Cycle을 32 Sampling 하여 처리하였다. 즉 1초에 60 × 32회인 1920번을 ADC 한다. Algorithm 연산을 수행하기 위해서는 그림6과 같이 Offset을 뺀 Digital 값을 얻어야 한다.

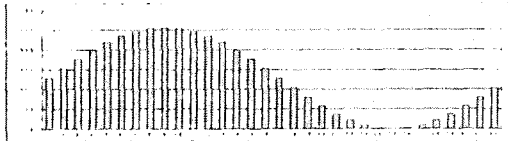


그림5. 32 Sampling한 ADC 직후 결과

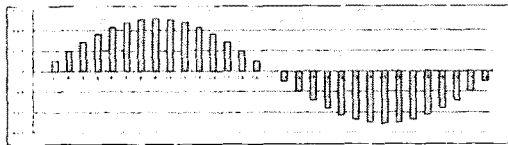


그림6. 그림5의 결과에서 Offset을 뺀 결과

2.2.1 Summation Algorithm

일정 시간동안 ADC한 결과를 Software적으로 정파하여 결과값 0~512의 값으로 바꾼다. 여기서 음수인 쪽만 양수로 바꾸면 간단히 Software 정파를 수행 할 수 있으며 이렇게 가공된 Digital Data를 모두 더하여 평균을 내면 결과를 계측 할 수 있다. 실험에서는 1 Cycle에서의 ADC 결과를 연산하여 계측을 하였다.

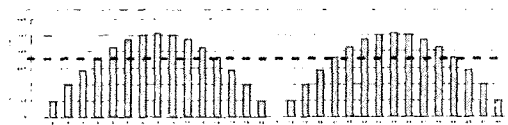


그림7. Summation의 Data 처리

2.2.2 True RMS Algorithm

그림6의 Digital Data를 이용하여 연산을 하는 것으로 해당 값을 제공하고 Root를 취함으로써 결과를 얻는다. 제곱을 함으로써 음수가 사라지고 Root를 취함으로써 절대값을 취한 형태가 되어 Summation Algorithm과 같은 과정이 수행 된다고 볼 수 있다. 계산과정에서의 수가 커짐으로써 오차율이 감소하다는 장점이 있다.

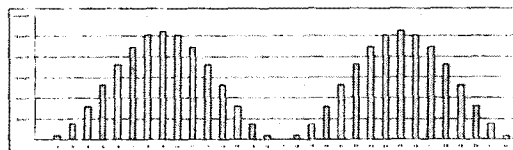


그림8. True RMS의 Data 처리

2.2.3 DFT(Discrete Fourier Transform) Algorithm

정의식 $X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}$ 에서 N은 Sampling 수이며 k는 주파수 파라미터이다. I_{real} (전류 페이지의 실수 성분)과 I_{imag} (전류 페이지의 허수 성분)를 식1, 식2로 계산한 후 식3을 이용하여 실효치 전류를 구한다.

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

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

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

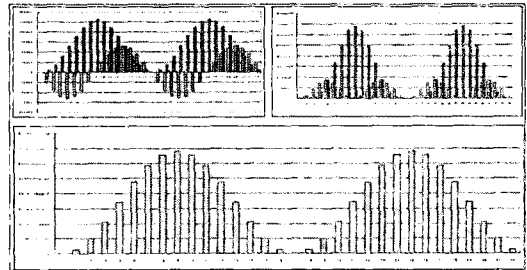


그림9. DFT의 Data 처리

2.2 프로그램을 위한 Flowchart

ADC를 1 / (60 Hz × 32 Sample) [sec]간격으로 구동하여 Digital Data를 입력 받아 해당 Algorithm에 맞게 연산을 수행하면 된다. 520.8 [usec]마다 입력된 Data는 다음 ADC가 들어오기 전에 모든 연산이 마무리되어야 한다. 1 Cycle을 측정하여 계측 결과를 얻는 방법을 사용하였다.

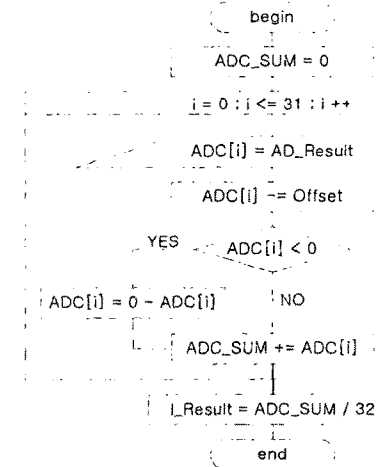


그림10. Summation Flowchart

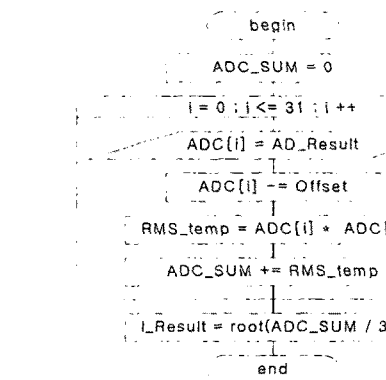


그림11. True RMS Flowchart

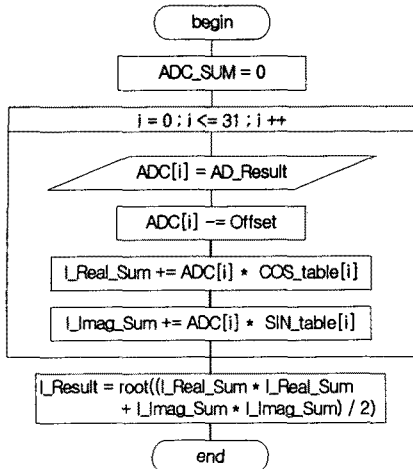


그림12. DFT Flowchart

2.3 Algorithm의 계측 결과

세 가지 Algorithm을 사용하여 각각의 계측된 결과를 분석하여 선형성 여부와 처리 속도 및 오차율을 확인하였으며 외부잡음이라고 할 수 있는 Impulse, Surge, 방파, 고조파(3 고조파, 5 고조파, 7 고조파, 9 고조파)을 Analog Input에 인하여 계측된 결과의 변화를 분석하였다.

2.2.1 계측 결과

Summation, True RMS Algorithm은 선형성 있게 증가하는 것을 확인하였으며 DFT Algorithm은 약간의 휘는 곡선을 그렸지만 2%이내에 들어왔으며 특정 공식을 적용하여 선형성을 만들 수 있다.

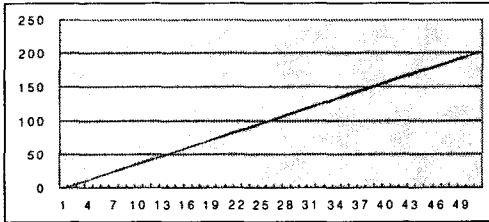


그림13. 계측 결과의 선형성(0 A ~ 200 A)

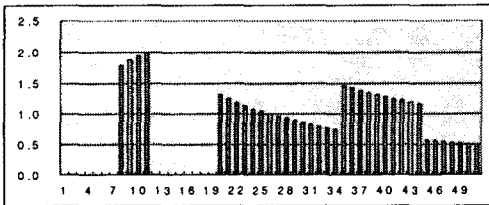


그림14. DFT의 계측 오차

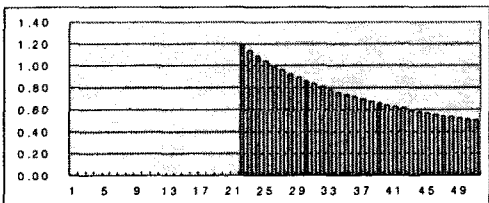


그림15. Summation과 True RMS의 계측 오차

오차율은 DFT Algorithm이 상대적으로 컸으며 오차의 변화도 심하였다. 반면 True RMS와 Summation 기법은 1.2% 이하의 정확한 측정율을 보였다.

2.2.2 외부 잡음에 대한 처리

Surge와 Impulse는 Hardware적인 방법으로 해결을 대부분하였으며 정전기와 방파와 고조파 시험은 DFT가 상대적으로 우수한 결과를 보였다. 고조파만을 인가할 때 DFT Algorithm은 정확한 0을 표시하였으며 고조파 합성을 인가할 때 계측 결과의 감소는 있었지만 값의 떨림은 발생하지 않았다. 방파시험의 경우에는 Summation과 True RMS는 110% 가량의 값의 상승현상을 보였으나 DFT 알고리즘은 아무런 현상을 보이지 않았다.

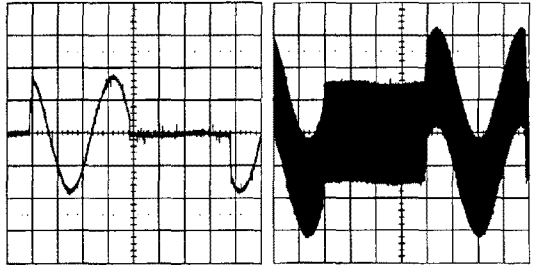


그림16. 방파시험 전후의 입력 파형

표1. 고조파 시험 결과

기본파 50A와의 합성 고조파	측정값	오차율
3(80%)	38 A	24 %
3(50%)	45 A	10 %
3(50%)+5(30%)+7(10%)	43 A	14 %
3(50%)+5(30%)+7(10%)+9(5%)	43 A	14 %

3. 결 론

Summation, True RMS, DFT Algorithm을 사용하여 Three Phase의 전류를 측정된 결과 선형성과 오차율에서 정확한 결과를 계측하였으며 연산속도는 Summation, True RMS, DFT Algorithm순으로 속도가 빨랐으며 오차율과 선형성에서는 Summation, True RMS에 비해 DFT가 상대적으로 나았다. 외부 잡음인 방파를 인가하면 Summation, True RMS는 계측 결과가 변하는 것을 볼 수 있었으면 DFT는 상대적으로 안정적인 계측 결과를 보였다. 고조파 시험에서도 DFT Algorithm이 상대적으로 안정적인 결과를 계측하였다.

고조파나 고출력의 수 MHz가 존재하는 시스템이며 연산 속도가 상대적으로 빠른 Microprocessor를 사용하면 DFT Algorithm이 우월할 것으로 사료되며 외부 잡음이 적은 시스템이나 연산속도에 신경을 써야하는 시스템에서는 Summation Algorithm를 사용하는 것이 유용할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김재철, 최명홍, 정용기, 남시복, “電力系統技術計算 基礎”, 의제출판사, 1997
- [2] 이재규, “C로 배우는 알고리즘”, 세화출판사, 2003
- [3] H8/3672의 Datasheet, “www.hitachi.com”, Hitachi
- [4] 양오, “AT89C51의 기초와 응용”, 신화전산기획, 2002
- [5] 양오, “디지털시스템 설계 및 응용”, 북두출판사, 2001
- [6] 임형순, 홍형표, 한희환, 구준모, 김항배, “원전 제어부제어시스템 예방정비 방법론”, 2002년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, D권, 2058, 2002
- [7] 김종수, 남창우, 안종구, 이규철, 이영철, 최재원, 최재하, “기초전기전자공학”, 청문사, 1998