

부분방전 예방진단 시스템의 로컬유닛 기능 향상을 위한 Digital Signal Processor(DSP) 응용

연만승*, 이재호*, 구자윤*, 강창원**
한양대학교*, (주)PSDTech**

The Application of Digital Signal Processor(DSP)
for Improvement of Local Unit for a Partial Discharge Online Monitoring System.

Manseung Yeon*, Jaeho Lee*, Jayoon Koo*, Chagwon Kang**
Hanyang University*, PSDTech Inc.**

Abstract - 최근 국내 전력시장은 초고압 대전력기기 사용이 현저히 증가하고 있어 이에 따라 부분방전 예방진단 시스템의 필요성은 절대적이며 이러한 시스템의 국산화가 절실히 요구되고 있다. 예방 진단 시스템의 국산화에 있어 부분방전 신호 측정시 신호 대 잡음비(Signal to Noise ratio)를 높이기 위해 측정용 센서의 검출가능 주파수 대역을 높게 설정하여 설계되고 있는데, 따라서 센서에서 검출된 신호를 처리하기 위한 로컬유닛 또한 국산화시 외국 시스템보다 더욱 신뢰성을 가질 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 위해서는 기존의 마이크로프로세서를 채용한 저속 시스템을 대체할 수 있도록 더욱 빠르고 높은 신뢰성의 디지털 신호처리 기술이 요구된다. 본 논문에서는 검출 센서의 아날로그 신호를 빠르게 디지털화 한 후 보다 정확한 데이터와 독립적 신호처리 그리고 네트워크를 통한 실시간 전송을 수행할 수 있는 부분방전 예방진단 시스템 로컬유닛의 프로토타입을 Digital Signal Processor (DSP)를 이용하여 구현하였다. 제작된 DSP 로컬유닛을 시험하기 위해 Real-Scale 170kV GIS Mock-up에서 부분방전 신호를 발생 시키고 센서를 통해 검출된 신호를 DSP가 처리하여 사용자의 네트워크를 통한 명령에 따른 실시간 전송모드, $\phi - q - n$ 진단모드로 자체 네트워크 기능을 이용하여 사용자에게 데이터를 실시간 전송하도록 하였다. 본 논문에서 구현한 DSP 로컬유닛은 대전력기기 부분방전 예방진단 시스템의 국산화에 있어 기존의 외국 시스템의 로컬유닛보다 구성이 간단하며, 실시간 신호처리 및 원격 데이터 전송기능에서 우수한 성능을 보였다. 향후 연구에서는 다양한 분석 알고리즘을 탑재한 DSP를 개발하여 더욱 향상된 실시간 데이터 전송 및 분석기능이 우수한 DSP 로컬유닛을 개발하고자 한다.

현재 사용되는 외국 예방진단 시스템에서 로컬유닛은 A/D 기능을 수행하고 수집한 데이터를 파워콘트를 유닛에서 모니터링 컴퓨터로 전송하여 데이터에 대한 분석을 수행하도록 구성되어 있는데, 센서의 신호에 대한 데이터량이 적은 단점이 있고 또 전력기기의 이상 유무를 감지하는 센서의 수가 많아지면 이를 콘트롤하기 위한 장비의 수도 많아져야 하고, 특히 부분방전 신호 측정시 신호 대 잡음비(Signal to Noise ratio)를 높이기 위해 측정용 센서의 검출가능 주파수 대역을 높게 되면 로컬유닛에서 처리 할 수 있는 주파수 대역으로 부분방전 신호를 낮춰야 하기 때문에 정확한 부분방전 신호 분석에 어려움을 가지고 있다. 본 논문에서는 위에서 언급한 보다 많은 데이터의 실시간 전송 및 높은 주파수 대역에 대한 정확한 신호처리 문제에 대한 해결을 위해 신호처리를 위해 개발된 DSP를 이용하여 로컬유닛과 파워콘트를 유닛의 기능뿐만 아니라 사용자의 명령에 따라 전력기기의 이상유무 판별을 위한 진단 기능(PRPDA)을 수행 할 수 있는 로컬 유닛의 프로토타입을 DSP를 이용하여 구현하였다.[3-6]

시스템의 시험을 위해 본 연구실이 보유하고 있는 Real-scale 170kV Gas Insulated Switchgear(GIS) Mock-up에서 발생하는 부분방전 신호를 센서를 이용해서 검출하고[7] 이 검출된 신호에 대해 A/D 처리 및 부분방전 진단 평가에 필요한 요소인 $\phi - q - n$ 값을 DSP 로컬유닛에서 연산하여 모니터링 컴퓨터로 네트워크를 통해 실시간 전송토록 하였다. 데이터의 신뢰성에 대한 분석은 오실로스코프와 P사의 상용 장비의 패턴과 비교하여 검토하였다.

2. 본 론

2.1 로컬유닛 테스트를 위한 전체 시스템 구성

1. 서 론

최근 급증하는 전기에너지 소비를 충당하기 위하여 대전력기기가 대용량의 고전압·대전력화로 개발되어 설치 운영하면서 각종 전력설비들에서 발생될 수 있는 여러 가지 유형의 사고 가능성은 설비 규모에 비례하여 증가될 뿐 아니라, 사고당 피해규모나 파급 효과는 엄청나게 크다. 따라서 설비를 운영함에 있어서 사고 발생의 예방 및 운전의 신뢰도 향상을 위한 상시적인 설비의 예방진단 시스템의 필요성은 절대적이며, 이를 위해 외국 시스템보다 더 나은 성능을 가진 예방진단 시스템의 국산화 연구가 활발히 진행되고 있다.

대전력기기 예방진단 시스템은 크게 센서, 로컬유닛, 로컬유닛을 제어하기 위한 파워콘트를 유닛, 모니터링 컴퓨터, 이렇게 크게 구분할 수 있는데, 예방진단 시스템의 국산화에 있어 센서 및 진단 알고리즘[1-2]에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 센서에 의해 측정된 아날로그 신호를 A/D 하고 모니터링 컴퓨터까지 보내주는 역할을 수행하는 중간 과정인 로컬 유닛에 관한 연구 및 개발은 미미하거나 주로 외부 기술에 의해 이루어지고 있는 실정이다.

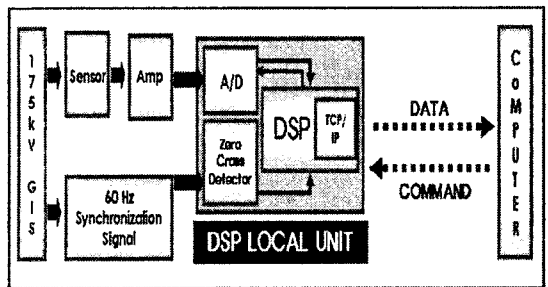


그림 1 DSP 로컬유닛 테스트를 위한 전체시스템 구성

DSP 로컬유닛 테스트를 위해 위와 같이 시스템을 구성하였다. 초고압 GIS에서 자주 발생하는 도체부 돌기 결함(high voltage conductor protrusion)을 모의하기 위해 본 연구실이 보유하고 있는 Real-Scale 170kV GIS Mock-up의 도체 내부에 침결함을 삽입하여 부분방전을

발생시켰고, 전압원으로 Haefely Trench사의 noise free High-voltage transformer(PZTL100-0.25)를 사용하여 전압을 인가하였다. 센서는 상용화된 전류 검출용 Current Transformer(CT)를 이용해 부분방전 신호를 검출하였다. 센서에서 검출된 아날로그 신호의 증폭을 위해 0,20,40dB로 증폭 가능한 앰프(Amplifier)를 사용하였으며 DSP 로컬유닛의 A/D 연결단자에 연결하였다. A/D 컨버터는 0.1 MHz부터 8 MHz까지 Sampling 가능한 TI사의 THS1408을 사용하였고, A/D 컨버터의 Sampling Rate는 DSP에 의해 결정되며 CT센서의 주파수 대역을 고려하여 1.25MHz로 앰프를 통해 들어오는 부분방전 신호를 Sampling 하였다. 부분방전 신호의 정확한 위상 및 PRPD 분석을 위해서는 전력기기에서 발생하는 부분방전 펄스의 위상이 매우 중요하므로 정확한 부분방전 펄스의 위상을 검출하기 위해서 DSP 로컬유닛은 기본적으로 GIS에 가해지는 60Hz 인가전압의 위상이 시작되는 시점에서 A/D 작업을 수행해야 한다. 따라서 GIS의 60Hz 동기화(Synchronization) 신호를 검출하기 위해 DSP 로컬유닛에 Zero-Cross Detector를 구성하여 설치하였다. DSP 로컬유닛의 메인 프로세서 및 보드는 DSP하드웨어 개발에 널리 사용되고 있는 TI사의 150MHz(6ns)로 동작하는 TMS320C6711 DSK를 사용하였고, 알고리즘 및 프로그램을 테스트 하였다. 마지막으로 네트워크 통신을 통하여 모니터링 컴퓨터로의 데이터 전송 및 명령 수신을 위해 LogicIO사의 ETHC600F 10/100Mbps 네트워크 카드를 사용하였다.

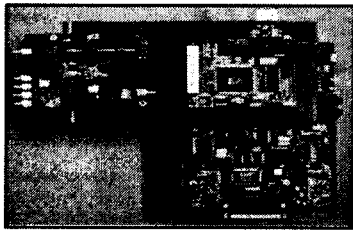


그림 2 DSP 로컬유닛의 Prototype

2.2 프로그램 알고리즘 및 기능

DSP 로컬유닛의 프로그램 알고리즘은 다음과 같다.

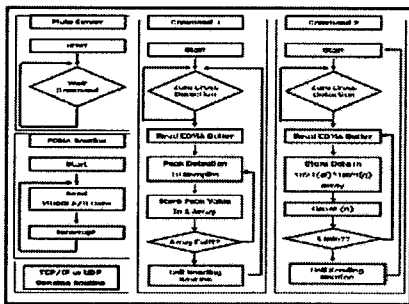


그림 3 DSP 로컬유닛 프로그램 알고리즘

각각의 루틴은 독립적인 태스크(Task)로 동작하며 상호 동기화(Semaphore)로 서로를 제어한다. 처음 동작시 DSP 로컬유닛은 자동적으로 Command 1을 수행하는데 Command 1은 GIS의 인가전압에 대한 위상을 Zero Cross Detection 하여 한주기 위상이 시작될 때 A/D 작업을 수행하고 한주기(1/60Hz) 동안 수행된 A/D 데이터를 2048 Array에 한주기의 위상에 해당하는 0~360°에 맞게 Mapping하여 저장한다. A/D 작업을 1.25MHz로 수행하므로 60Hz의 한주기에 해당하는 Sampling 횟수는 20833.3333번이 되는데 20833번 Sampling 값을 2048

Array 하나에 10개씩 Mapping하여 저장한다. 이때 10개의 Sampling 중에서 가장 큰 값을 비교하여 Peak Detection한 값을 기억하여 저장한다. 한주기에 해당하는 작업이 끝나면 모니터링 컴퓨터로의 데이터를 실시간 전송하며 실시간 전송과 별도로 Command 1은 GIS 인가전압의 위상을 Zero Cross Detection 하여 같은 작업을 반복한다.

Command 2의 경우는 $\phi - q - n$ 값을 검출하는 작업으로 기본적인 작업 순서는 Command 1과 유사하다. 사용자가 Command 2 명령을 내렸을 경우 인가전압의 3600주기, 즉 1분동안 A/D된 신호에 대해서 값을 저장하는데 이때 $1024(\phi) \times 1024(q)$ Array에 위상에 해당하는 x축 Array, 크기에 해당하는 y축 Array의 해당 위치에 펄스의 빈도수를 누적하여 부분방전 펄스의 빈도수를 계속하여 Count한다. 3600주기에 대한 작업이 끝나면 누적된 1024×1024 Array의 값을 모니터링 컴퓨터로 전송하여 모니터링 컴퓨터에서 그래프를 통하여 $\phi - q - n$ 값을 확인 할 수 있다.

2.3 테스트 결과 및 데이터 비교.

DSP 로컬유닛의 테스트 결과는 다음과 같다. 먼저 Command 1의 경우의 테스트 결과이다.

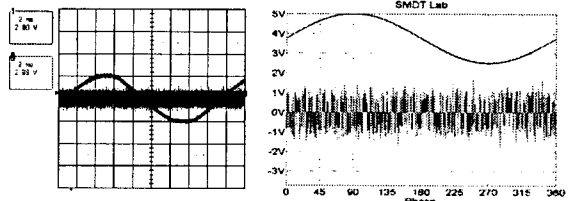


그림4. 6kV 전압 인가

그림4는 GIS에 6kV 전압을 인가하고 오실로스코프 파형과 DSP 로컬유닛에서 모니터링 컴퓨터로 실시간 전송한 데이터 값을 비교한 그림이다. 그림4에서는 방전이 발생하지 않고 있다. DSP 로컬유닛에서 보내온 데이터에 대한 그래프에서 볼 수 있듯이 부분방전 신호에 대한 데이터를 0~360° 위상의 2048개의 Index로 나누어 보다 자세하고 정확한 부분방전 신호에 대한 판단을 할 수 있다.

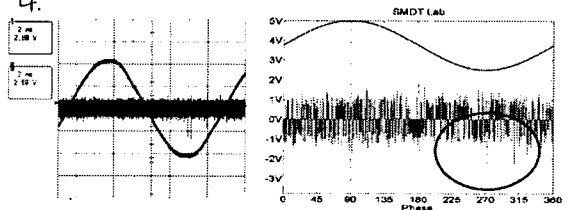


그림5. 12.5kV 전압 인가

그림5는 GIS에 12.5kV 전압을 인가하고 오실로스코프 파형과 DSP로컬유닛의 데이터 값을 비교한 그림이다. 부분방전이 개시되었으며 간헐적인 방전 펄스가 확인되었다. 인가전압의 위상에 따라 Zero Cross Detection 하므로 부분방전 펄스의 위상이 오실로스코프와 동일함을 알 수 있다.

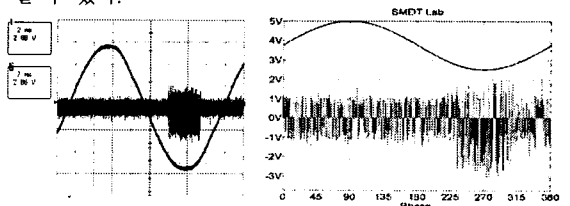


그림6. 16.5kV 전압 인가

그림6은 GIS에 16.5kV 전압을 인가하고 오실로스코프 파형과 DSP로컬유닛의 데이터 값을 비교한 그림이다. Calibration한 TE-571 PD Detector에서의 방전량은 300 pC 였다.

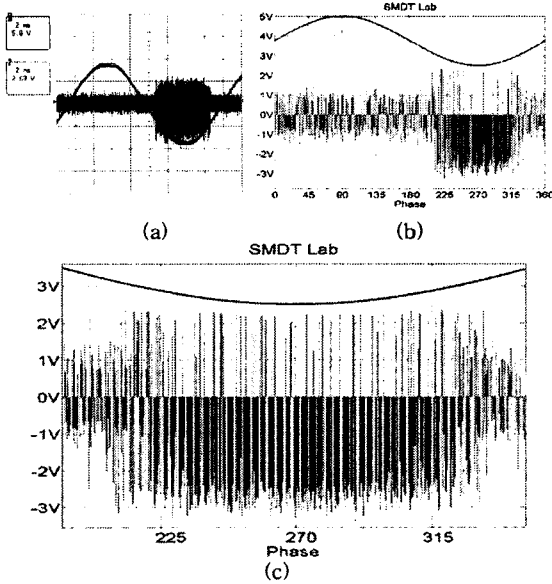


그림7. 26kV 전압 인가

그림7은 GIS에 26kV 전압을 인가하고 오실로스코프의 파형과 DSP로컬 유닛에서 모니터링 컴퓨터로 실시간 전송된 데이터 값을 확인한 결과이다. 이때의 방전량은 380pC 이었다. 그림(c)는 그림(b)에서 부분방전 펄스가 발생하고 있는 270° 위상 부분을 확대한 그림이다. 그림(b)의 경우 x축의 전체 Array Index가 2048개이므로 모니터링 컴퓨터의 모니터 해상도에 따라 보이지 않는 데이터 값이 존재하므로 위와 같이 해당 위상만 확대 하였을 경우 보다 자세한 데이터 값을 확인할 수 있다.

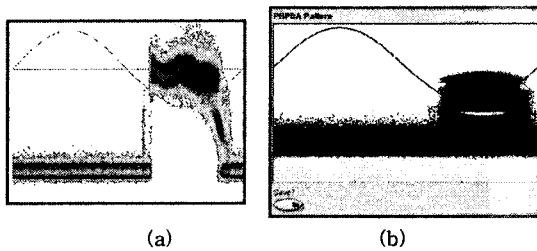


그림8. Command 2, $\Phi - q - n$ 분석 그래프

그림 8은 30kV의 전압을 인가하고 Command 2를 수행하여 모니터링 컴퓨터로 보내온 $\Phi - q - n$ 데이터 값을 그래프로 확인한 그림이다. 그림(a)의 경우 P사의 상용 장비를 이용하여 분석한 그림이고 그림(b)는 DSP 로컬유닛이 전송한 데이터 값에 대한 그림이다. Command 2의 경우 1024*1024 Array에 부분방전 펄스의 빈도수를 포함한 데이터 값이므로 해당 위치의 빈도수에 따라 색깔로 표시하여 나타 낼 수 있다. P사의 상용 장비 보다 DSP 로컬유닛이 신호에 대한 Sampling량, 신호 크기에 대한 Resolution이 높아 패턴 그림에서 약간의 차이가 보인다.

3. 결 론

본 논문에서는 전력기기의 부분방전 예방 진단 시스템의 국산화를 위해 외국 시스템의 로컬유닛 보다 빠르고 많은 데이터를 처리하여 실시간 전송이 가능한 로컬유닛의 프로토타입을 DSP를 이용하여 구현하였다. 구현한 DSP 로컬유닛의 평가를 위해 170kV급 GIS를 이용하여 부분방전 신호를 발생시켜 모니터링 컴퓨터로 실시간 전송된 데이터를 오실로스코프와 P사의 상용 장비와 비교하여 실험실적 성능평가 시험을 하였다.

본 논문에서 구현한 DSP 로컬유닛의 프로토타입은

1. 부분방전 신호에 대한 데이터의 처리에 있어서 인가 전압 한주기에 대해 Zero Cross Detection하여 20833번의 Sampling을 신호를 처리한다.
2. 20833번의 샘플링시 Array 당 10개씩의 값을 Peak Detection 하여 2048개의 Array에 저장하여 모니터링 컴퓨터로 실시간 전송토록 하였다.
3. 필요에 따라 1분간의 부분방전 신호를 측정하여 1024*1024 Array의 PRPD 패턴을 확인 할 수 있는 기능을 가지고 있다.

본 논문에서 구현한 DSP 로컬유닛은 실제 시스템화 하였을 경우 부분방전 예방 진단 시스템의 국산화에 있어 보다 소형화 및 독립적, 기능적인 작업을 수행할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 전력기기의 운전상태 확인 및 불시적인 사고를 예방하는 예방 진단 시스템의 구성 요소로서 보다 효과적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 과제로서 보다 빠른 DSP를 이용하여 UHF등의 센서의 주파수 대역이 높아짐에 따라 더 빠른 Sampling 및 데이터 처리, CAPD등 다양한 분석 알고리즘에 필요한 Factor 검출, Portable 측정을 위한 USB 데이터 전송 및 자체 LCD Display, 센서와 센서의 신호 차에 의해 결함의 위치를 판별하는 Time-of-Flight Technique 등 많은 연구를 수행할 계획이다.

[감 사 의 글]

본 연구는 산업자원부(과제번호:R-2002-0-307)와 한양대학교 전자재료 및 부품연구센터의 지원에 의해 수행된 연구결과와 일부로 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Gulski, "Computer-aided measurement of partial discharges in HV equipment", IEEE, Vol 23, pp 696-983, December, 1993.
- [2] A. Krivda, "Automated Recognition of Partial Discharges", IEEE, Vol 2, No 5, pp 796-821, October, 1995.
- [3] Texas Instrument, "TMS320C6000 TCP_IP Network Developer's Kit (NDK) Programmer's Reference Guide (Rev. A)", SPRU524A, October, 2001.
- [4] Texas Instrument, "TMS320C6000 Peripherals Reference Guide (Rev. D)", SPRU190D, February, 2001.
- [5] Texas Instrument, "TMS320C6000 Chip Support Library API Reference Guide (Rev. E)", SPRU401E, December, 2002.
- [6] Texas Instrument, "TMS320C6000 DSP_BIOS Application Programming Interface (API) Ref Guide (Rev. E)", SPRU403E, October, 2002.
- [7] 윤정훈, 구자윤, 임윤석, 연민승, 강창원, "GIS내부에 부분방전 측정에 관한 연구", 2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp 1797-1799, 2002.7.10-12.