

Hybrid Conversion Scheme을 이용한 부분 방전 측정 기법

김용주, 이기창, 황돈하, 박도영, 강동식
한국 전기 연구원

Hybrid Conversion Scheme for Partial Discharge Measurement

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract -회전기 고정자 권선에서 발생하는 최대 부분 방전의 연속적인 on-line 측정이 가능한 경제적이고 간단한 hybrid conversion scheme이 개발되었다. 또한 기존의 부분 방전 측정 방식인 single channel analyzer 방식, A/D 변환 방식과 대비하여 hybrid conversion scheme의 장단점이 설명되었으며, 부분 방전 측정 주파수 대역과 부분 방전 측정의 dead time의 영향을 분석하였다.

1. 서 론

회전기의 on-line 부분방전 측정을 위한 이동형 측정 기기에는 single channel analyzer 방식이 채택되어 보급되어 왔다. 또한 11 [kV], 100 [MVA] 이상의 고압 대용량 발전기에 대해서 이동형 측정 기기를 사용함으로써 발전기 절연 진단의 경제성을 확보하여 왔다. 그러나 각각의 회전기에 고정적으로 설치하여 연속적인 부분 방전을 측정하기에는 경제성이 낮아서 6.6 kV, 10 MVA 이하의 소 용량 회전기에는 연속적인 on-line 측정 방식을 적용하기 어려웠다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 경제적인 부분방전 측정기법인 hybrid conversion scheme이 개발되었다. 이 방식은 on-line 부분방전 측정 센서를 이용하여 검출된 신호를 peak-hold 회로와 microprocessor 안에 이미 내장된 A/D 변환 channel을 이용하여 최대 부분방전 신호를 측정하는 것이다. 60 Hz 상용주파 전압 한 주기를 360개의 구간으로 나누어 약 46.3 μ s 마다 한번씩 최대 부분 방전 값을 측정하여 부분 방전에 대한 스펙트럼 측정이 가능한 시스템을 개발하였다.

보령 화력 발전소에서 운용중인 10개의 대형 전동기에 hybrid conversion scheme이 적용되어 개발된 본 측정 기기가 설치 운용되고있다. 본 논문에서는 hybrid conversion scheme이 적용된 부분 방전 측정 기기와 실험실 측정 결과에 대하여 상세히 설명되었다.

2. Hybrid Conversion Scheme과 부분방전 측정

회전기 on-line 부분 방전의 측정 기술은 캐나다의 FES 그리고 IRIS 회사에서 1980년대에 개발되어 현재까지도 북미 및 중남미의 여러 나라에서 설치되어 운용되고 있다. 이들 회사들은 수십 MHz 대역의 부분 방전을 측정하는 on-line sensor와 측정 기기를 공급하여 왔다. 하지만 유럽과 일본에서는 이러한 방식을 아직까지 받아들이고 있지 않다. 유럽과 일본은 수십 MHz 이상의 고주파 대역의 부분 방전 측정 방식 대신에 수백 kHz 이하인 저주파 대역에서의 부분 방전 측정을 고정자 권선의 절연 진단의 신뢰성 있는 판단 자료로 인정하고 있기 때문이다. 부분 방전의 고주파 성분은 권선을 도체로 신호가 전파되는 과정에서 감쇄가 심하기 때문에 발전기 고정자 권선 전체의 절연 진단을 수행하기에는 부적절하다고 판단하고 있기 때문이다. 따라서

single channel analyzer 측정 방식과 고속 A/D 변환기에 의한 측정 방식을 본 논문에서 제안된 hybrid conversion scheme 등과 대비하여 주파수 측정 대역, dead time, 그리고 고유 기능의 특성을 먼저 비교한다.

2.1 시스템 비교

캐나다 IRIS 회사의 부분 방전 측정 방식은 single channel analyzer 방식을 [6] 채택하였다. 이 방식은 부분 방전 크기를 측정하는 입력 크기의 기준을 작은 것에서 큰 것으로 순차적으로 변경하면서 측정하는 방식이다. 따라서 이 방식은 부분 방전 크기의 스펙트럼과 부분 방전 위상의 스펙트럼을 작성할 수 있다. 하지만 발생된 부분 방전 사이의 시간 간격인 부분 방전 시간 간격 스펙트럼을 측정할 수 없는 단점이 있다. 또한 dynamic inception voltage 혹은 dynamic stagnation voltage [3] 등을 측정할 수 없다.

이러한 단점을 보완하고자 최근의 반도체 기술의 발달로 아주 값싸게 구입할 수 있게 된 고주파 A/D 변환기를 (50 M samples/sec) 사용하여 연속적으로 부분 방전을 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. [1] 이 방식은 일정 시간 동안 연속적으로 입력 파형을 A/D 변환하여 data 저장 장치에 기록한 후에 이 값을 이용하여 digital filtering 및 부분 방전 크기의 스펙트럼 그리고 부분 방전 위상의 스펙트럼을 작성하는 것이다. 따라서 이 방식의 채용은 single channel analyzer 방식에서는 불가능하였던 부분 방전의 시간 간격 스펙트럼 그리고 dynamic inception voltage 그리고 dynamic stagnation voltage등을 측정할 수 있다. 또한 digital filtering 방식에 의한 부분 방전 신호의 주파수 대역 분석이 가능하다.

마지막으로 hybrid conversion scheme은 A/D 변환 방식과 같이 부분 방전 크기의 스펙트럼 그리고 부분 방전 위상의 스펙트럼 측정이 가능함은 물론이고 single channel analyzer 방식에서는 불가능한 부분 방전의 시간 간격 스펙트럼의 측정이 (dead time 허용 범위 내) 가능하고 dynamic inception voltage 그리고 dynamic stagnation voltage의 측정도 가능하다. 다만 A/D 변환 방식에서 가능한 부분 방전 신호의 주파수 대역 분석은 불가능하다.

2.2 시스템 구성

Single channel analyzer 방식의 부분 방전 측정 기법은 한 주기 동안에 발생하는 부분방전 신호를 모두 검출할 수 없는 단점이 있으며 이 방식을 채용한 기존의 부분방전 측정 시스템은 고성능 부품의 적용으로, 가격이 고가이기 때문에 실제 현장 특히 발전기에 비해 상대적으로 저가인 전동기에는 제대로 적용되지 못하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 수단으로 본 논문에서는 peak detect and hold 회로와 A/D 변환기를 이

용한 부분 방전 신호의 측정 기법을 제시한다. 이러한 기법은 op-amp.로 구성되는 analog 회로와 상용화된 microprocessor를 이용하여 쉽게 구현할 수 있으므로, 기존 방식에 비해 경제적인 시스템을 구성하면서도 신뢰성을 확보할 수 있어서 실제 현장 적용이 용이할 것으로 기대된다. 아래에 그림 1에 시스템의 block diagram을 나타내었다.

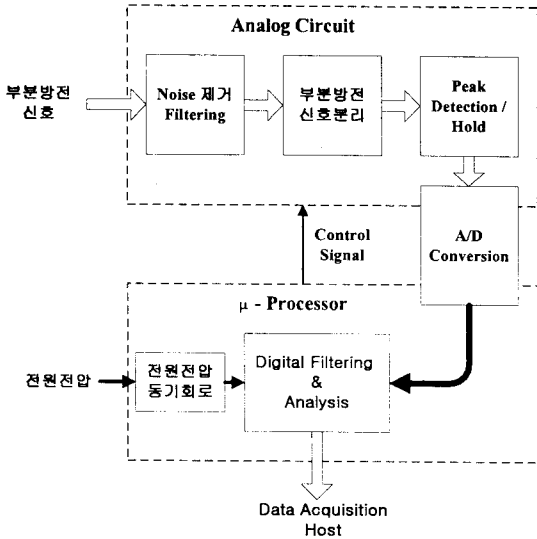


그림 1 Hybrid conversion scheme의 block diagram

2.2.1 Analog 회로

부분방전 검출용 온라인 센서에서 부분방전 신호를 입력받으면 잡음제거 및 filtering을 거친 후, 부분방전 신호분리 회로를 통과하게 된다. 주파수 통과 대역은 1 MHz 이상의 고주파 대역으로 필터를 설계하였다. 따라서 저주파 잡음을 효율적으로 제거할 수 있게 하였다. 부분방전 신호분리 회로는 op-amp. 회로와 스위치 및 microprocessor의 제어신호들로 이루어진다. 부분방전 신호는 양극성과 부극성 신호로 구분되므로, 부분방전 신호 분리 회로도 양극성과 부극성 신호 추출 회로의 이중 경로로 분리하였다. 또한, 부분 방전 신호 분리를 위해서는 전원전압과의 위상을 동기 시킬 필요가 있다. 이를 위하여 전원전압 동기회로를 PLL(Phase -Locked Loop) 회로를 이용하여 구성하였다.

2.2.2 측정회로의 이중화

실제 회로에서는 A/D 변환 시간, microprocessor가 처리하는 시간 그리고 peak detect용 capacitor의 방전시간이 필요하다. 따라서 이러한 시간 동안은 부분 방전신호의 분석을 하지 못하는 단점이 있다. 이 시간을 부분 방전 측정의 dead time 이라고 한다. 실제로 고압 기기에서 발생하는 부분 방전 발생 간격은 최소 8.3 μ s로 알려져 있다. 이러한 측정 상의 dead time을 최소화하기 위하여 실제 하드웨어를 구성함에 있어서는 부분방전 신호분리회로와 peak detect and hold 회로는 양극성 부분 방전과 부극성 부분 방전 측정을 위하여 각각 2 개 회로가 구성되었다. 각 극성에 할당된 2 개의 회로는 교대로 부분 방전 신호를 측정하여 측정 시간을 단축하는 결과를 가져오게 된다. 따라서 이러한 이중화 개념은 80C196KC가 내장하고 있는 8 channel의 저급의 A/D 변환기를 적용해도 부분방전의 최대값 검

출이 용이하므로 시스템 구성의 비용을 절감하는 효과가 있다.

2.3 Dead Time

경제적인 부분방전 측정 장치를 개발하기 위하여, Intel 사의 80C196KC 16bit microprocessor와 고속 응답 특성을 가지는 부분방전 신호분리용 op-amp를 사용하였다. 부분방전 신호의 최대값을 얼마나 자주 측정하는가 하는 문제는 측정 기기의 성능과 가격의 문제이다. 본 논문에서는 경제적인 시스템 구성을 위하여, 전원전압(60Hz)의 1° 에 해당하는 약 46.3 μ s 마다 1번씩 최대값 검출을 시행하였다. 또한 A/D 변환기도 80C196KC에 내장된 ADC를(최대 sampling time 3.6 μ s, 최대 conversion time 32.2 μ s) 사용함으로써 간략하고 경제적인 시스템을 이루었다.

하지만 1 개의 부분 방전의 측정 및 저장을 위해 필요한 시간인 46.3 μ s은 앞에서 언급된 최소 dead time 8.3 μ s를 만족하기에는 너무 길다. 따라서 앞으로 이 dead time을 5 μ s 이하로 줄이기 위하여 microprocessor 대신에 DSP (Digital Signal Processor)를 사용하는 방법이 검토되고 있다.

3. Hybrid Conversion Scheme의 원리

아래 그림 2는 peak detect and hold 와 microprocessor를 이용한 부분방전 크기의 측정 과정을 보여준다.

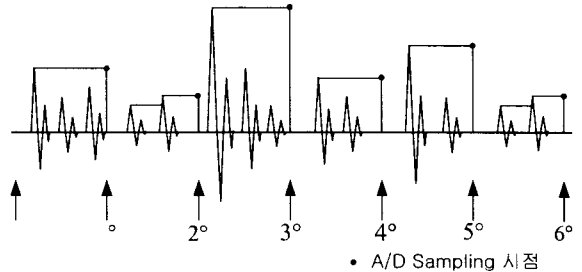


그림 2. Peak detect and hold 회로와 A/D 변환 channel의 조합을 이용한 측정기법

부분방전 신호는 전원전압 주기의 각 1° 씩 마다 최대값을 측정하는 과정을 가진다. 예를 들어 1°까지는 여러개의 부분 방전이 발생하였음에도 이 기간동안 발생한 부분 방전 중에서 가장 큰 1개의 부분 방전 값만이 제 1의 peak detect and hold 회로에 의하여 최대값이 유지되고 A/D 변환이 이루어진다. 2°까지는 제 2의 peak detect and hold 회로에 의하여 연속적으로 부분 방전의 최대값이 유지되고 측정된다. 또한 3°까지는 다시 제 1의 peak detect and hold 회로에 의하여 측정되며 4°까지는 제 2의 peak detect and hold 회로에 의하여 측정이 교대로 반복된다. 따라서 hybrid conversion scheme은 2 개의 peak detect and hold 회로가 교대로 연속적인 부분 방전 최대값을 측정함을 알 수 있다. 따라서 양극성 부분 방전과 부극성 부분 방전을 측정하기 위해서는 각각 2 개의 peak detect and hold 회로와 2 개의 A/D 변환 channel이 사용되었다. 따라서 총 4 개의 peak detect and hold 회로와 4 개의 A/D 변환 channel이 사용되었다. 아래 그림 3은 이러한 방식으로 매 1° 마다 양극성 부분 방전 신호의 최대값을 측정하는 과정과 파형을 나타내고 있다. Channel 1은 실제 측정되는 부분 방전의

과형을 나타내고 있으며 channel 2는 제 1의 peak detect and hold 회로가 동작하는 과정을 channel 3은 제 2의 peak detect and hold 회로가 동작하는 과정을 나타내고 있다.

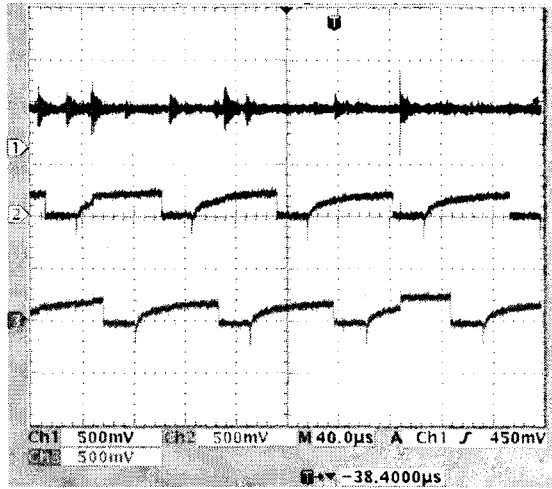


그림 3 Hybrid conversion scheme이 적용된 부분방전의 최대값 측정

4. 현장 적용성

그림 4은 본 연구에서 개발되어 보령화력 발전소에서 실제로 운용하고 있는 측정장치를 보여주고 있다. 전동기의 3 상 권선에서 발생하는 부분 방전 신호를 고주파 multiplexor에 의하여 순차적으로 측정하며, 측정 주파수 대역은 외부 잡음을 고려하여 1 MHz 이상의 고주파 대역이다. 추후에는 외부 잡음 제거가 가능하고, 부분 방전 신호의 감쇄가 상대적으로 작은 100 kHz 정도의 낮은 주파수 대역에서 부분 방전의 측정이 가능한 시스템을 개발하기 위한 연구가 진행중이다.

보령화력 발전소에서는 총 10기의 대형 전동기에 hybrid conversion scheme이 적용된 측정장치가 사용되었으며, 각 5 기씩의 정보를 수집하여 화면 표시와 저장, 그리고 과거에 수집된 정보를 이용한 분석을 통하여 전동기를 진단하는 data acquisition server가 2기 운용되고 있다.

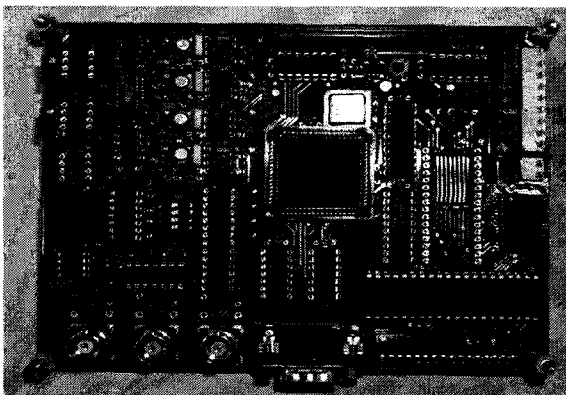


그림 4. 부분방전 측정장치의 실제 사진

5. 결 론

본 논문에서는 hybrid conversion scheme의 개요 및 기능에 대하여 설명하였다. 이를 종합하면 hybrid conversion scheme은 single channel analyzer에 비하여 많은 장점을 갖고 있으며 부분 방전의 A/D 변환 및 측정 방식과 같이 아래와 같은 많은 기능을 갖고 있다.

- (1) 부분 방전 크기의 스펙트럼 작성이 가능하다.
- (2) 부분 방전 위상 분포의 스펙트럼 작성이 가능하다.
- (3) 부분 방전 발생 시간 간격의 스펙트럼 작성이 가능하다. (dead time 허용 범위 내)
- (4) Dynamic inception voltage와 dynamic stagnation voltage 측정이 가능하다.

하지만 고주파 A/D 변환 방식보다는 다음과 같은 단점을 갖고 있다.

- (5) 부분 방전 신호의 주파수 분석이 불가능하다.

마지막으로 A/D 변환 방식에 대한 장점은 다음과 같다.

- (6) 간단하고 경제적이며 (1)-(3)을 수행하기 위한 S/W 프로그램 작성이 용이하다.

본 논문에서는 80C196KC를 사용하여 1 개의 부분 방전의 측정 및 저장을 위해 필요한 시간인 dead time을 46.3 μ s로 최소화하였다. 하지만 현장에서 요구되는 최소 dead time 8.3 μ s를 만족하기에는 너무 길다. 따라서 앞으로 이 dead time을 5 μ s 이하로 줄이기 위하여 microprocessor 대신에 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하는 방법으로 개선하고자 한다.

또한 본 논문에서는 부분 방전 측정 주파수 대역을 외부 잡음을 고려하여 1 MHz 이상의 고주파 대역으로 설정하였으나, 추후에는 외부 잡음 제거가 가능하고, 부분 방전 신호의 감쇄가 상대적으로 작은 100 kHz 정도의 낮은 주파수 대역에서 부분 방전의 측정이 가능한 시스템을 개발하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김용주, 황돈하, 박도영, "Development of Continuous Partial Discharge Monitoring System for Generator Stator Insulation", 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 5-8, ISEI 2000
- [2] 김용주, "발전소 고압 전동기 절연 감시 시스템 개발" 한국 전력 공사 전력 연구원 위탁 연구 보고서, 2000년 6월
- [3] Yong-Joo Kim, Don-Ha Hwang, Doh-Young Park, "Novel On-Line Partial Discharge Monitoring System for Generator/Motor Stator Insulation", Vol.1, pp. 300-334, May, ICEMS 2001
- [4] Yong-Joo Kim, Don-Ha Hwang, Byoung-Chol Shin, "Development of On-Line Insulation Diagnosis System for Generator Stator Windings", pp. 1429-1432, August, ICEE 2001
- [5] 김용주, "고압 회전기 고정자 권선에서의 운전중 부분 방전 측정을 위한 최대값 검출 기법", 발명 특허 출원중
- [6] M. Kurz, G.C. Stone, "Diagnostic Testing of Generator Insulation : Part III The Partial Discharge Analyzer and Coupling System", Contract No. RP76-17, Report Prepared for The resesearch Committee, Canadian Electrical Association, pp. 31-55, December 1980