

초고압 선로 부분방전 On-line 모니터링 시스템 개발

김충식¹, 이창영¹, 김원년²
 LS전선¹, 엠파워²

Development of On-line PD Monitoring System for High Voltage Power Cable System

Choong-Sik KIM¹, Chang-Young LEE¹, Won-Nyeon KIM²
 LS Cable¹, M-Power²

Abstract - 초고압 선로에 대한 풍부한 진단 경험과 축적된 Know-how를 바탕으로 선로의 이상유무를 원격으로 진단, 감시하는 On-line PD Monitoring System을 개발하였다. 초고압 선로의 이상 유무를 활선상태에서 정밀하게 진단할 수 있는 전기적인 측정방법으로 부분방전이 유일하다. 그러나 부분방전 신호는 미약하고 주위 노이즈와 구분이 어렵기 때문에 측정 뿐만 아니라 분석하기가 어렵다. 부분방전 측정 장비는 이러한 노이즈를 효과적으로 제거하고 측정된 신호를 의미있는 정보로 가공하여 사용자에게 제공해 주어야 한다. 본 논문에서는 이러한 조건들을 충족하는 고성능의 원격 진단시스템에 관하여 서술하였다.

을 찾아 측정하면 고감도의 PD 측정이 가능하다. 이를 구현하기 위해 그림 2과 같이 동조중폭회로를 설계하였다.

동조중폭부는 부품의 입수와 선택도를 높이기 위해 2단으로 신호를 변환하였다. 동조를 하기위해 상향 변환 주파수는 높을수록 전압제어 발진기의 좁은 범위만을 사용하게 되므로 동조하기 쉽다. 그러나 선형성은 좋게 되나 주파수가 높을수록 회로의 구현이 어렵다. 따라서 입수가 용이한 VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 선정하여 2단으로 주파수를 변환하였다.

동조중폭기를 제어하여 2~50MHz 대역을 sweep하면, 그림 1과 같이 노이즈와 PD 신호의 스펙트럼이 나타난다. 그림 1에서는, 노이즈는 약 25MHz이하에서 크게 나타나고 PD신호(켈리브레이션 펄스)는 전반적으로 노이즈 보다 크게 나타남을 보여준다. 이 그래프 화면에서 최대 S/N비를 나타내는 주파수 대역, 즉 약 23MHz을 선택하면 동조중폭기에서는 $f_{LO} + 23MHz$ 를 발진하고 Mixer와 IF filter를 거쳐 23MHz대역의 신호만 선택적으로 증폭된다.

1. 서 론

초고압 전력케이블 선로의 이상유무를 정밀하게 진단하기 위해 PD(Partial discharge) 측정법이 널리 사용되고 있다. 그러나 PD신호는 미약하고 주위 노이즈의 영향을 받기 쉬우므로 정확하게 PD를 측정하기가 대단히 어렵다. 특히 변전소와 같이 가공선과 초고압 설비가 집중되어 있는 곳에서는 더욱 심하다. 이러한 문제점은 측정되어진 신호에 함께 유입된 노이즈를 선별적으로 제거하는 노이즈 게이트(Noise gate) 회로를 이용하여 해결할 수 있다[1][2]. 이 방법은 실제로 많은 현장의 기중종단접속합과 가스중단접속합의 PD시험을 통하여 코로나 노이즈를 효과적으로 제거 할 수 있음을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 동조중폭

실험실 혹은 실내에서 행해지는 샘플 케이블의 PD 시험은 외부 노이즈가 시료에 유입되지 않도록 차폐하기 위해 실드룸 내부에서 실시한다. 그러나 수백 미터 혹은 수십 km의 장거리 선로의 경우, 전 선로를 차폐하는 것은 현실적으로 불가능하다. 광대역 측정법(중폭주파수 수십 kHz~ 수십 MHz)을 사용하여 측정을 할 경우 그림 1의 스펙트럼과 같이 노이즈 성분을 포함하고 있기 때문에 고감도의 PD 측정이 곤란하다.

한편, PD펄스의 주파수 성분은 파두장과 파미장에 따라 달라지며 샘플용 케이블(단조장) 내에 발생한 PD의 경우 수백 MHz까지 주파수 성분을 연속적으로 포함하고 있다. 이러한 특성을 이용하여 선로 내 노이즈의 주파수 성분과 PD 신호의 주파수 성분을 spectrum analyzer로 분석하여 S/N(signal/noise)가 가장 높은 곳

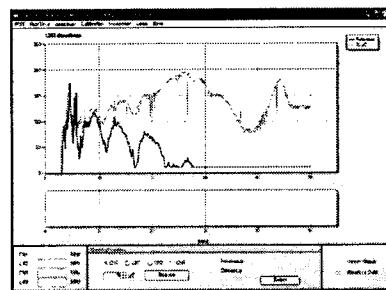


그림 1 동조중폭기를 이용한 노이즈와 PD 스펙트럼 분석 그래프

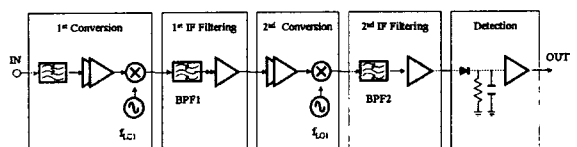


그림 2 동조중폭부 Block diagram

2.2 노이즈 게이팅

선로 주위의 고압기기로부터 유도되어 전파되는 노이즈는 동조식 측정으로 제거가 가능하지만 가공선에서 발생하는 코로나 노이즈는 크기가 클 뿐만 아니라 주파수 특성도 PD신호와 유사하여 동조식 측정방법으로 불가능하다. 더욱이 선로의 중단접속할 측정시 공기 중으로 직접 전파되어 영향을 주기 때문에 측정이 힘들다.

이러한 펄스성 노이즈를 제거하기 위해 그림 3과 같이 noise gate회로를 이용하여 노이즈 펄스를 제거한다 [1][2]. 가공선에서 발생된 코로나가 PD 센서에 커플링되어 PD 신호와 혼합되고, 이 신호는 노이즈 게이트 IN에 입력된다. 노이즈 신호 즉, 코로나는 선로 주위에 설치한 안테나를 통해 노이즈 게이트 회로의 gate ON/OFF control 신호로 작용하여 노이즈를 차단한다. 그림 4의 (1)과 같이 노이즈가 혼합된 신호가 입력신호로 들어오면 안테나를 통해 노이즈 (2)가 noise gate를 제어하여 순수한 PD신호만 (3)과 같이 출력된다.

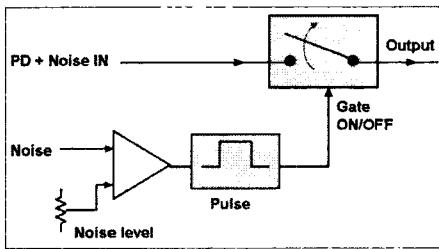


그림 3 노이즈 게이트 Block diagram

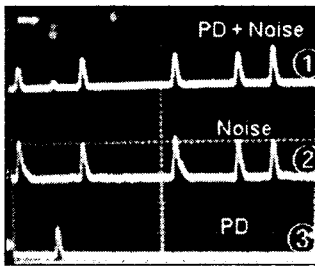


그림 4 노이즈 게이팅 전, 후 PD 펄스

2.3 β -q-n 패턴 및 Pulse time-sequence 그래프

부분방전은 한 주기에 수개에서 수 십개의 펄스가 발생한다. 또한 부분방전 발생은 인가전압의 위상과 밀접한 관련성을 가지고 있다고 보고되고 있다[3,4]. 예를 들어 보이드 방전 일 경우 전형적으로 발생하는 Rabbit-like 패턴과 Turtle-like 패턴은 위상각 0도와 180도 부근에서 나타나고 코로나의 경우는 90도와 270도 부근에서 일정크기를 나타낸다. 이와 같이 부분방전 발생 위상과 크기를 일정시간 동안 축적시켜 x축을 위상, y축을 크기, z축을 발생 빈도수로 하여 그림 5와 같이 나타낸다. 부분방전 패턴은 수십 년 전부터 결합과 패턴 형태와 연관시켜 연구하여 부분방전 측정에 표준 데이터가 되었다.

그림 6의 Pulse time-sequence는 β -q-n 로는 분석할 수 없는 방전 현상을 해석하는 데 용이하다. 부분방전은

주변의 온도, 압력, 기체의 변화에 따라 반응하여 방전펄스의 위상과 크기에 영향을 준다. 예를 들어 첫 번째 방전 펄스의 크기가 2, 3...번째 펄스의 크기보다 상당히 클 경우 CO₂나 H₂O의 증가로 초기전자가 줄어들어 long time-lag으로 인한 over-voltage가 걸린 것으로 해석할 수 있다[4]. 이와 같이 pulse time-sequence는 부분방전 매커니즘 해석에 활용될 수 있다.

2.4 HMI 프로그램

HMI 프로그램은 Visual Basic으로 짜여져 있으며 PD 장비 간 통신은 RS-232C를 통해 정의된 프로토콜로 통신한다. 패키지의 구성은 STX(시작구분자), Header, Body, CRC, ETX(종료구분자)로 구성되며 Body에 사전에 정의한 function code를 삽입하여 장비의 제어와 데이터를 수집한다. 제어 항목으로는 tuning frequency, gate ON/OFF, gate pulse 폭, noise level, pre-amp/IF amp/main amp의 gain을 설정할 수 있으며 원격으로 내장된 calibrator를 제어하여 수시로 방전값을 보정할 수 있다.

측정절차는 PD센서로부터 노이즈와 calibrator로부터 발생하는 펄스의 주파수 스펙트럼(그림 1)을 PD장비로부터 입력받아 최대 S/N 주파수 대역을 설정한다. 그리고 calibrator를 동작시켜 설정된 tuning frequency에서 펄스 크기를 측정하여 장비를 보정한 한다. 장비측에 부분방전 측정 지속시간, 측정 간격 등을 설정한 후 원격으로 모니터링을 실시한다. 장비 간 통신망은 광으로 연결되어 있어 장거리 전송이 가능하며 수 십대까지 연결하여 구성할 수 있다.

향후, 변전소에 있는 On-line monitoring system이 광역망과 연결되어 전국 각 지역에 있는 선로들의 부분방전 신호 정보를 LS 데이터 센터의 DB server에 저장하여 전문가에 의한 진단 서비스를 제공하는 원격 진단 시스템을 추가 개발할 예정이다.

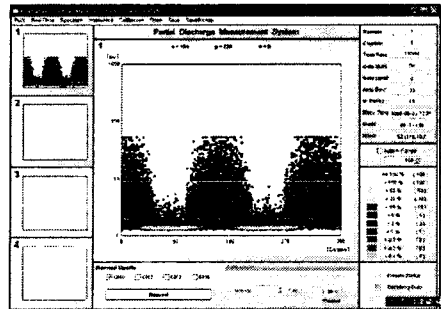


그림 5 β -q-n 패턴

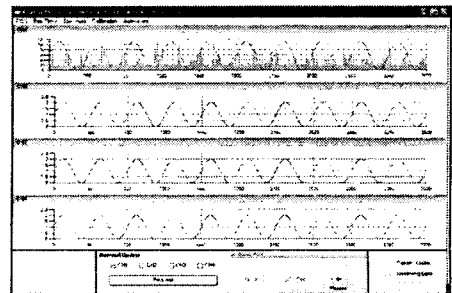


그림 6 Pulse time-sequence

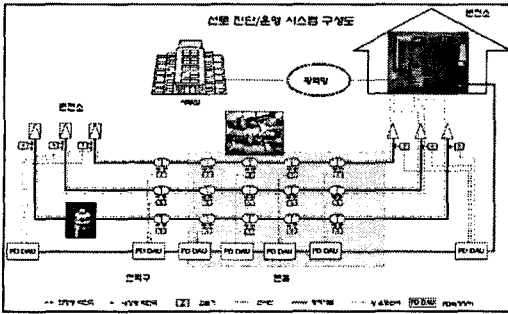


그림 6 PD on-line monitoring system
(LS전선 공장- 광평변전소간 설치예정인 진단감시
모니터링 시스템 구성도)

3. 결 론

변전소 내부에서나 장거리 실선로의 경우 주변에서 발생하는 노이즈로 인하여 PD 측정이 불가능하나 동조식 측정과 노이즈 게이팅으로 노이즈를 효과적으로 제거할 수 있는 On-line 모니터링 시스템에 관하여 설명하였다. 이러한 기술은 기중중단 접속함 뿐만 아니라 가스중단 접속함에도 잘 적용되어 펄스성 노이즈를 완벽하게 제거할 수 있다.

현재 본 논문에서 서술된 노이즈 제거 기술을 이용하여 전 선로를 동시에 진단 감시할 수 있는 전력설비 종합 감시시스템을 제작 중에 있으며 7월 말 LS전선 구미 공장과 광평변전소 간 선로에 설치 완료할 예정이다. 이 시스템으로 초고압 선로의 안정성 향상과 신뢰성 확보에 더욱 기여하리라 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김충식, "HFPD 부분방전 측정기술의 국내 최초 345kV XLPE 선로 준공시험 적용", 전력케이블 심포지엄, 2003
- [2] 김충식, "초고압 케이블 선로에 대한 고주파 부분방전 시험", 춘계 방전 및 고전압 연구회, 2004
- [3] 김충식, "154kV XLPE 케이블 실선로 부분방전 검출", 추계 방전 및 고전압 연구회, 2004
- [4] Choong-Sik.Kim, "Change in PD Pattern with Aging", IEEE-DEI, Vol.11, No.1, 2004