

실시스템에서의 고압용 진상용 캐패시터 특성시험

송상훈*, 서민성*, 유우선*, 조성수**, 원충연***
 산업기술시험원*, 삼화콘덴서공업(주)**, 성균관대학교***

Measurement of High Voltage Capacitor in On-line System

Sang-Hoon Song*, Min-Sung Seo*, Woo-Sun Yu*, Sung-Soo Jo**, Chung-Yuen Won***
 Korea Testing Laboratory*, Samhwa Capacitor co. Ltd.**. Sung Kyun Kwan University

Abstract - This paper suggests a computer-based on-line measurement method of $\tan \delta$ and capacitance for HV capacitor. The method employs V-I technique using scaled down analog voltage and current signal obtained by digital oscilloscope. The measurement results are displayed by graphic user interface with graphic language. Field tests were carried out at 6.6kV testing voltage in Samhwa Capacitor company.

1. 서 론

산업이 발달할수록 각종 산업분야의 전력 소비량은 급속히 증가하고 있으며, 이러한 전력시스템의 안전성과 신뢰성의 확보는 중요한 문제로 인식되고 있다. 고압의 전력설비에 대한 절연, 손실 등의 문제는 주기적인 사전 점검을 통해 안정성을 유지하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 각종 생산설비, 대형빌딩, 송배전 시설 등에서 무효전력의 보상을 위해 널리 사용되고 있는 고압 진상용 캐패시터의 실시스템에서의 측정기술을 제시하고자 한다. 고압 진상용 캐패시터의 생산업체, 연구소 등에서는 대규모의 설비와 측정장비를 이용하여 이미 확립되어 있는 셰링브리지(Schering Bridge)법을 이용하여 손실($\tan \delta$)과 용량값의 정밀한 측정이 가능하다. 이러한 방법들은 고압 진상용 캐패시터의 측정장소까지의 이동을 필요로 한다. 그러나 일반적인 고압용 캐패시터는 부피와 중량이 커 설치 후 이동은 거의 불가능하다. 본 논문에서 제시하는 측정방법은 캐패시터 이동없이 설치상태에서의 측정이 가능하므로 이러한 단점을 개선할 수 있다. 또한 셰링브리지법을 이용한 측정방법에 비해 거의 뒤지지 않는 정확도를 가지고 있다.

고압 진상용 캐패시터의 손실($\tan \delta$), 용량값 측정의 전체적인 측정시스템은 그림 1과 같이 첫번째, 캐패시터 양단전압과 전류를 측정하기 위한 Shunt 저항과 전압분할부, 두 번째 Shunt 저항과 전압분할기로부터 전압, 전류를 검출하는 검출부와 정밀한 신호처리를 위한 신호처리회로, 세 번째 처리된 신호를 오실로스코프를 통해 디지털화 한 다음 GPIB 통신을 통해 PC로 전송하여 Labview를 이용한 데이터 처리부로 나눌 수 있다. [1-4]

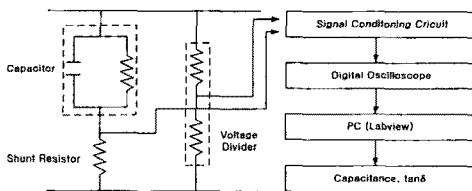


그림 1. 전체적인 측정시스템

2. 시스템의 해석과 제작

2.1 제안하는 측정기술

본 논문에서 제안하는 측정기술의 기본적인 원리는 아날로그 전압, 전류 신호의 디지털처리 기술이다. 단일 기능의 측정장비를 사용하지 않고 Labview를 이용한 그래픽 언어를 사용함으로써 용량, 손실값의 측정 뿐 아니라 입력전원의 고조파 분석 등, 사용자가 필요한 여러 가지 항목을 프로그램화하여 분석이 가능하다는 것 또한 큰 장점이다. 측정시스템의 그래픽 인터페이스는 그림 2와 같다.

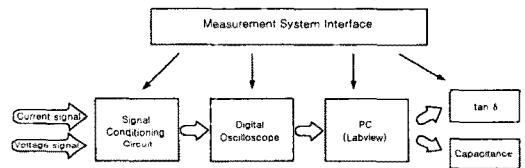


그림 2. 측정시스템의 인터페이스

세부적으로 살펴보면, 전원측과 절연을 위해 전압, 전류센서는 전류형 PT(Potential Trasformer)를 사용하였다. 센서를 통한 아날로그 출력신호는 신호처리회로의 low-pass filter를 거쳐 8 bit 이상의 연속적인 높은 샘플링비(Sampling rate)를 가지는 디지털 오실로스코프를 통해 디지털적인 신호로 변환된다. 이 변환된 신호는 GPIB 통신을 통해 PC로 전송된 다음 Labview 환경의 그래픽 언어를 이용하여 전압, 전류 신호의 영점위를 검출(Zero crossing detection)한 다음 두 신호간의 시간차를 계산하여 손실값을 산출하게 된다. 또한 전압, 전류의 실효치를 분석하여 용량값의 분석도 가능하다. 이러한 데이터의 처리과정에 있어 전원부 또는 외부 회로에서 유입되는 노이즈 성분은 손실값 계산에 있어 오차 발생에 있어 가장 많은 부분을 차지하게 되므로 효율적인 접지와 노이즈에 대한 적절한 대책이 필요하다.

2.2 측정오차의 분석과 대책

그림 1과 같은 측정시스템에서 전류, 전압의 고조파 성분은 손실값의 정확한 측정에 있어 오차의 많은 부분을 차지하고 있다. 그러나 일정 크기 이상의 샘플링비를 가질 경우 고조파 성분에 의해 발생하는 오차의 정도는 측정의 정확도를 고려할 때 무시할 정도의 크기로 작아진다. 또한 그 이상의 높은 샘플링비를 가진다 하더라도 정확도는 일정한 정도에 포화되어 증가하지 않음을 볼 수 있었다. 시뮬레이션 결과를 보면 샘플링비가 200 kS/s 이상이면 만족할만한 결과를 가질 수 있었다. 샘플링비와 함께 또 하나의 측정오차 발생 요인은 오실로스코프 트리거 포인트(Trigger Point)의 위치이다. 디지털 신호처리에 있어 전압검출신호는 데이터 수집의 기준

이 되는 신호이다. 이에 따라 전류검출신호 역시 연속적인 데이터 수집이 이루어진다. 각각의 기준전압에 대한 트리거 포인트 변경에 따른 시뮬레이션결과 그 기준점에 따른 오차의 크기는 주기적인 것으로 나타났다. 무수히 많은 측정을 통해 그의 평균값을 취한다면 트리거 포인트에 의한 오차는 거의 무시할 수 있겠지만 일반적인 측정에 있어서는 0, 90, 180, 360° 에서의 트리거 포인트 시작이 측정오차를 최소화 할 수 있다.

2.3 시뮬레이션

측정시스템의 시뮬레이션은 PSIM을 이용하여 용량값 8000nF, 정격전압 22.9kV의 캐패시터에 가상의 병렬저항 성분을 스텝으로 변경함에 따른 손실값과 용량값 계산을 시험하였다. 손실값 계산의 흐름도는 그림 3과 같다.

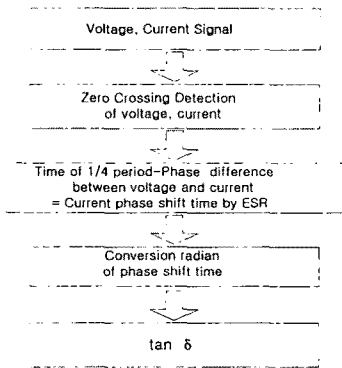


그림 4. $\tan \delta$ 계산의 흐름도

실제 시스템의 Signal Filtering Circuit, Labview에 의한 데이터의 처리과정은 DLL 블록에 프로그램화하였다. 실제적인 시험 시스템과 같은 방식의 데이터 계산을 통해 제안하는 측정시스템의 타당성을 검증하고자 하였다. 그림 5은 시뮬레이션의 전체적인 회로도이다.

그림 6(a) 상단의 파형은 정격전압이 인가된 상태에서의 캐패시터 양단의 전압이다. 2.1.1절에서 언급한 것과 같이 트리거 포인트를 0° 에서 시작하였다. 하단의 파형은 동일한 상태의 전류이다. 병렬저항의 스텝변화 순간에 전류의 변화가 보인다. 그림 6(b) 상단의 파형은 용량값의 계산결과이고, 하단의 파형은 손실값의 계산결과이다. 손실값 파형의 공백은 샘플링 된 데이터의 계산시간을 의미하며, 제안하는 알고리즘의 타당성을 볼 수 있다.

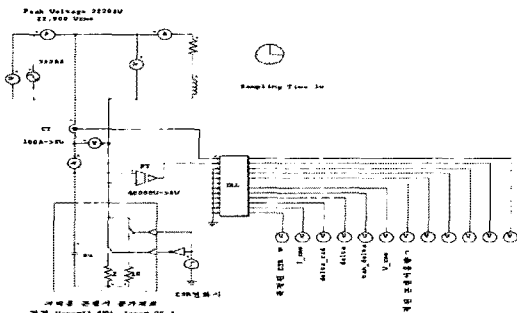


그림 5. 시뮬레이션 회로도

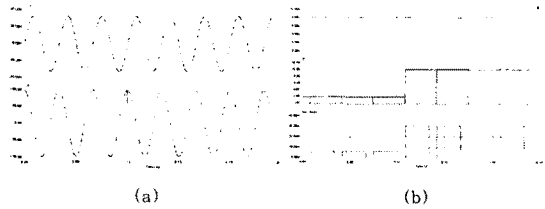


그림 6. 시뮬레이션 출력파형

2.4 실시스템에서의 시험

실시스템의 시험은 일반적으로 가장 많은 수요를 가지고 있는 22900/6600V, 1 ϕ , 60Hz, 278kvar 캐패시터를 대상으로 하였다. 시험조건은 상온에서 단계적으로 정격전압까지 인가하여 제안하는 측정방법과 기존의 Schering Bridge(Soken, DAC-PSC-20W)를 이용한 측정결과치를 비교분석 하였다.

2.4.1 시스템의 하드웨어 구성

실시스템에서의 캐패시터 측정은 고압이 인가된 상태에서 전압, 전류신호를 측정해야 함으로 전원부와 측정부간의 절연에 많은 연구가 필요하다. 그림 7에서와 같이 높은 전압의 분압을 위해 크기가 작으면서도 정확도가 1%이하, 고내압, 고용량의 특성을 가지며, 전류의 흐름에도 유도 저항값이 발생하지 않는 고압용 패턴저항을 사용하였다.

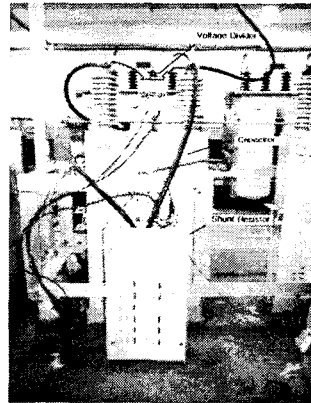


그림 7. 시험 시스템

그림 8은 전압분할기와 Shunt 저항으로부터 받은 신호를 처리하는 검출부로 고압의 전원부로부터 발생하는 각종 노이즈로부터 회로를 보호하기 위해 캐패시터로부터 일정거리 이상의 위치에 배치하였다.

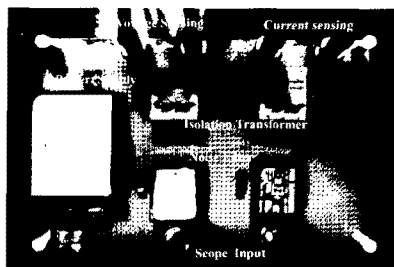


그림 8. 전압, 전류 검출부

그림 9는 전류측정에 사용된 Shunt 저항으로 정확도 0.5%, 0.1Ω, 전류용량 100A의 무유도 저항을 주문 제작하였다.

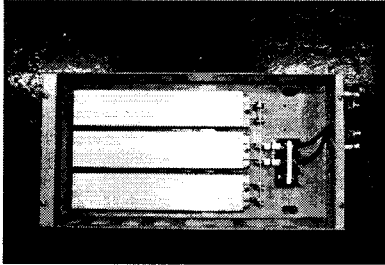


그림 9. 시험에 사용된 Shunt 저항

2.4.2 시스템의 소프트웨어 구성

시스템의 전체적인 제어를 위해 그림 10에서와 같이 Labview를 사용하였다. Oscilloscope(TDS220)을 이용하여 GPIB Data 통신으로 한 주기에 대한 Data를 얻기 위하여 1ms/div로 설정하였고 Sampling time 4 μs, 2500개의 Data를 전송 받았다. 오차는 1개당 4 μs이고 %tanδ=0.000015%이고, 따라서 10개 이하의 오차가 있다하더라도 일반적인 캐패시터의 정확도와 고려할 때 무시할 수 있는 정도의 크기이다. Volts/Div은 2V로 하여 400등분 되어져있으며 Scale Factor를 고려하면 Voltage Scale은 60.4878[V], Current Scale은 0.3975[A]이다. 실제전압의 약 1/1020 이고 실제전류의 약 1/180 이기 때문에 데이터 오차는 임피던스 계산 시에 크게 영향을 미치지 못한다.

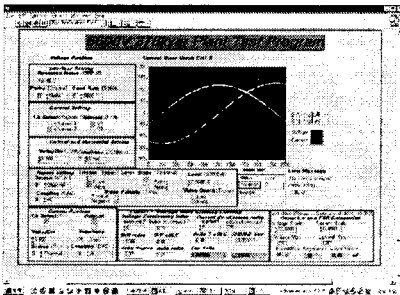


그림 10. Labview 패널

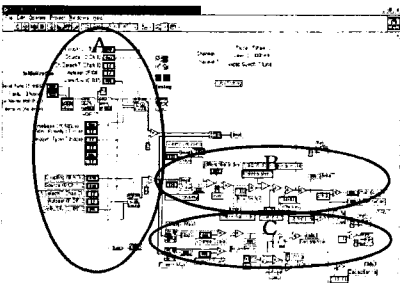


그림 11. Labview 다이어그램

그림 11 A는 오실로스코프의 설정블록, 그림 11 B는 tanδ 계산블록, 그림 11 C는 임피던스 계산블록이다.[5]

2.5 시험결과

2.3절에서 언급한 것과 같이 22900/6600V, 1φ, 60Hz, 278kvar 캐패시터를 대상으로 제안하는 측정방법과 Schering Bridge(Soken, DAC-PSC-20W)를 이용한 측정결과를 표 1과 같다.

표 1. 시험결과 비교

측정방법	측정항목	시험 전압		
		2kV	4kV	6.6kV
DAC-PSC -20W	용량[μF]	17.263	17.265	17.266
	손실[%]	0.006	0.006	0.008
제안된 방법	용량[μF]	17.1	17.3	17.6
	손실[%]	0.0064	0.0062	0.0078

위의 두 시험결과를 비교해 볼 때 용량값의 오차는 최대 1.2%, 손실값은 측정정밀도의 차이는 존재하지만 대략 2.5%의 오차가 발생하였다. 이는 일반적인 캐패시터의 특성평가 기준과 비교할 때 무시할 수 있을 정도의 크기이다.

3. 결 론

현재 산업현장, 전력시설 등 사용되고 있는 진상용 고압 캐패시터의 숫자는 정확한 집계가 어려울 정도로 많이 사용되고 있으며 이의 효율적인 운영을 위해서는 설치 후 지속적인 유지, 관리가 필요하다. 그러나 기존의 특성평가 방법으로는 현실적으로 측정이 불가능하므로 본 논문에서 제안하는 측정방법을 이용할 경우 캐패시터의 노후, 특성변형 등으로 유발될 수 있는 안전문제, 경제적 손실 등을 예측하고, 이에 대한 대비책을 강구하는데 중요한 데이터를 제공할 수 있을 것이다. 또한 전동기, 고압케이블 등 고압환경에서 용량, 손실값의 측정을 필요로 하는 관련산업에 확대 적용이 가능하다. 그러나 수백 kV이상의 초고압의 환경에서도 적용할 수 있는 기술의 발전을 위해서는 측정 알고리즘 뿐 아니라 하드웨어적인 시스템 구성을 위해 소재, 재료분야의 연구도 병행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Pei Wang, "A Digital Technique for the On-line Measurement of Dissipation Factor and Capacitance", IEEE, Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.8, No.2, April, 2001
- [2] Zhu Genling, "Measurement of tanδ and capacitance of single phase electrical apparatus of capacitive insulation under operating voltage", IEEE International Conference Properties and Apparatus of Dielectric Materials, pp.701~703 China, 1988.
- [3] N.H Ahmed and N.N.Srinivas, "On-line partial Discharge Detection in Cables", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.5, No.2, pp.182~188, 1998
- [4] Dr P Vujovic, "Development of an On-line Continuous TAN(δ) Monitoring System", Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Pittsburgh, June 5-8, 1994
- [5] Labview Function and Vi Reference Manual, National Instrument