

가스절연개폐기에서 용량성 전압프로브를 이용한 부분방전 측정

최수연*, 박찬용, 박대원, 김일권, 길경석
한국해양대학교 전기전자공학부

Partial Discharge Measurement by a Capacitive Voltage Probe in a Gas Insulated Switch

Su-Yeon Choi*, Chan-Yong Park, Dae-Won Park, Il-Kwon Kim, Gyung-Suk Kil
Korea Maritime University

Abstract : This paper described the partial discharge (PD) measurement techniques for diagnosing gas-insulated switches in overhead power distribution system. A capacitive voltage probe to detect PD pulse was designed and fixed on the surface of a bushing. We also designed a coupling network to attenuate AC voltage by 270 dB, and a low-noise amplifier having the gain of 40 dB and 500 kHz~20 MHz 3 dB. From the calibration, it was calculated that the sensitivity of the measurement system was 0.94mV/pC. In the application experiment, we could measure a PD pulse of 45 pC.

Key Words : Partial discharge, Gas-insulated switches, Capacitive voltage probe, Low-noise amplifier, Coupling network

1. 서 론

지난 수십년에 걸쳐 정보통신기술의 급속한 진보와 산업사회의 고도화로 많은 분야에서 자동화가 이루어졌고, 이에 따라 전력수요도 급증하여 한 순간이라도 정전이 발생하면 유·무형의 많은 경제적인 손실이 발생하게 되었다. 특히 전력기기에서 절연파괴는 여러 가지 형태의 사고로 이어지는데, 궁극적인 절연파괴의 원인은 부분방전현상으로 방전량과 관계없이 절연재료를 급격하게 열화시켜 전기설비의 수명을 단축시킨다. 부분방전은 또한 절연이상의 문제가 발생할 때 가장 우선적으로 나타나는 현상이기도 하여 그 신호를 측정하면 사고를 미연에 방지할 수 있다. 특고압 배전계통은 구성이 복잡하여 사고발생 빈도도 높으므로, 고전압 환경하에서 배전자동화에 필요한 전압·전류 등 각종 전기적 정보의 계속 및 상시진단기술이 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 국내의 배전자동화 단계로 특고압 가공배전선로에 설치되어 있는 SF₆ 가스절연개폐기의 열화진단을 위한 부분방전 검출방법에 대하여 연구하였다. 개폐기에서 부분방전의 측정은 비접촉식 용량성 전압센서의 원리로 절연과 고주파 특성이 우수하도록 설계하였다. 측정회로에 상용주파수 60Hz 전압은 270dB로 감쇄시키고 -3dB의 차단주파수가 1MHz인 결합회로망과 500kHz~20MHz (-3dB) 대역에서 40dB의 이득을 가지는 저잡음 고주파 증폭기를 제작하였다. 제안한 부분방전 검출시스템은 교정용 펄스로 기본 특성을 평가하였으며, 주상용 25.8kV 가스절연개폐기에서 적용실험을 수행하였다.

2. 용량성 전압프로브의 원리

가스절연개폐기의 절연붓상을 이용한 전압측정장치의 검출전극은 환상구조로, 고전압 도체측의 정전용량 C_h와

대지표류정전용량 C_d는 분포정수인데 비하여 저전압측 정전용량 C_p는 집중정수이다. 이들 분포정수와 집중정수는 용량성 분압기의 전압측정장치의 고주파 응답을 제한하게 되며, 응답특성은 다음과 같이 해석할 수 있다.

그림 1에 나타낸 것과 같이 C_p의 접속점을 원점으로 하여 검출전극으로부터의 거리를 x 라 하고, 주파수 f 인 전압 V 를 전원도체에 인가하였다고 하면, 검출 전극상에서의 전압분포 v_x 와 전류분포 i_x 는 다음 식을 만족시킨다.

$$dv_x + j\omega \frac{L_o}{2\pi r} dx i_x = 0 \quad (1)$$

$$j\omega \frac{C_h}{2\pi r} dx (V - v_x) - j\omega \frac{C_d}{2\pi r} dx v_x + di_x = 0 \quad (2)$$

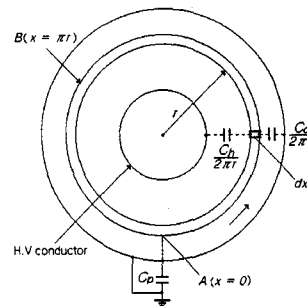


그림 1 검출전극의 구조

경계조건으로

$$x = 0 \text{ 에서 } v_x = -\frac{1}{j\omega C_p} i_x \quad (3)$$

$$x = \pi r \text{ 에서 } i_x = 0 \quad (4)$$

이라고 가정하고, 이들 경계조건을 적용하여 식 (3), 식 (4)을 풀면, x=0에서 v_x의 값 즉, C_p의 단자전압 V₀는

다음과 같다.

$$V_0 = \frac{C_h}{C_d + C_h} \frac{1}{\frac{C_p}{C_d + C_h} \cdot \frac{g}{2} \cdot \frac{e^g + 1}{e^g - 1} + 1} V \quad (5)$$

$$\text{여기서 } g = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{f}{f_0}, f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0(C_d + C_h)}} \quad (6)$$

이다. 식 (5)에서 알 수 있는 바와 같이 프로브의 출력전압은 피측정 전압원의 주파수에 따라 달라짐을 알 수 있다.

3. 부분방전 측정장치

가스절연개폐기의 부분방전을 펄스로 검출하기 위해 그림 2와 같이 부상외부에 용량성 전압프로브를 설치하였다. 충전부와 비접촉식으로 설치되므로 기설 및 신설개폐기에 적용이 가능하다.

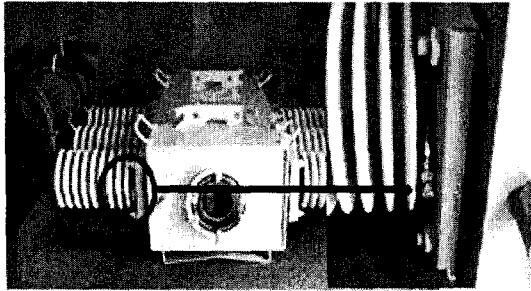


그림 2 검출전극의 설치 사진

그림 3은 전압프로브로 검출된 신호 중 부분방전 펄스만을 증폭기에 통과시키기 위한 결합회로망의 구성을 나타낸 것이다. 상용주파수 60Hz는 270dB로 감쇄시키고, -3dB의 차단주파수는 1MHz인 특성을 가진다. 또한 미수부분방전신호를 증폭시키기 위해 500kHz~20MHz (-3dB)대역에서 40dB의 이득을 가지는 저잡음 고주파 증폭기를 제작하여 적용하였다.

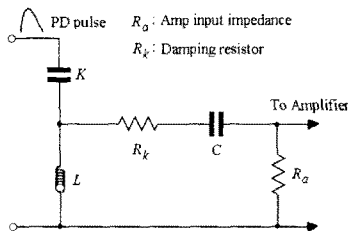
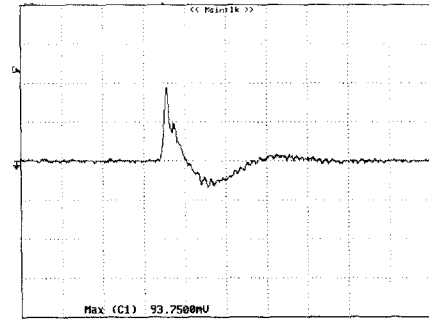


그림 3 결합회로망의 구성

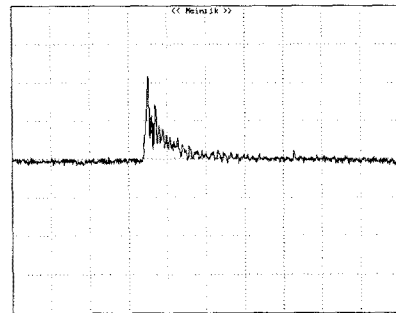
부분방전 측정장치의 기본특성은 표준펄스발생기(CAL1A, Power Diagnostix)로 교정신호를 개폐기의 전극에 인가하고, 증폭기의 출력을 비교하여 평가하였다. 교정펄스 100pC를 인가하였을 때의 출력파형을 그림 4에 나타내었으며, 이때 출력 전압이 약 94mV이므로 감도는 0.94mV/pC 이다.



[50mV/div, 200ns/div]

그림 4 100 pC 인가시 검출 파형

그림 5는 본 측정장치를 이용하여 개폐기내에 임의의 부분방전을 발생시켜 측정한 것이다. 검출 펄스의 최대값이 42mV이므로 실제 방전전하의 크기는 약 45pC 이다.



[20mV/div, 200ns/div]

그림 5 부분방전 파형

4. 결론

본 논문에서는 특고압 주상용 가스절연개폐기에서 부분방전의 발생을 관측하기 위해 용량성 전압프로브의 검출센서와 결합회로망, 증폭기로 구성되는 부분방전 측정장치를 설계·제작하였다.

본 측정장치는 가스절연개폐기에서 교정실험결과, 감도는 0.94mV/pC 이었으며, 적용 실험에서는 약 45pC의 부분방전 펄스를 검출할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

참고 문헌

- [1] IEC Publication 60270, High-voltage test techniques-Partial discharge measurement, 2000.
- [2] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", Butterworth, p. 15, 1989.
- [3] 길경석, 송재용, 서황동, 황돈하, 강동식, 김용주, "저압 유도전동기에서 미소 부분방전 측정에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지 제18권 제10호, p. 960, 2005.