

공기 중 부분방전원 식별을 위한 UWB신호파형의 특징추출

이강원, 박성희, 김길수*, 강성화**, 임기조
*충북대학교, LG 산전, **충청대학

Feature extraction of waveforms for discrimination of PD sources in air

K. W. Lee, S. H. Park, K. S. Kim*, S. H. Kang**, K. J. Lim
Chungbuk National University, *LGIS, **Chungchong College

Abstract - 기존 부분방전검출법에서는 수십 ~ 수백 kHz의 주파수 영역에서 부분방전신호를 관찰하였기 때문에 각 부분방전원별 발생신호파형의 특징을 효율적으로 추출할 수 없었다. 본 논문에서는 수십 ~ 수백MHz의 넓은 주파수대역(UWB)에서 부분방전신호를 관찰하여 각 부분방전원별 신호파형의 특징을 추출한 후 이러한 특징을 도대로 부분방전원을 구별하였으며, 상당히 좋은 분류결과를 보였다.

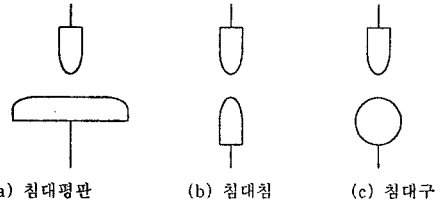


그림 1. 전극구조

1. 서 론

공기를 절연체로서 사용하는 전력기기에서 발생하는 부분방전 신호는 전력기기 자체의 절연이상에 따른 신호와 함께 주위 다른 방전원에서 발생한 잡음신호가 함께 포함되어 검출되므로, 이러한 복합신호의 분류는 실제 절연이상을 탐색하는데 있어 중요하다고 볼 수 있다. 이러한 분류를 위한 노력은 다양한 방법에 의하여 시도되고 있다. 그중 몇가지를 살펴보면 기존 PRPD법에 의한 $\phi-q-n$ 분포를 이용하여 분류하는 방법[1,2]과 부분방전신호로부터 직접 특징을 추출하여 분류하는 방법[3] 등이 있다. 전자의 경우는 방전신호는 낮은 대역(수십 kHz - 수백 kHz)에서 관찰되었으나 후자의 경우는 방전신호를 검출하는 방법에 의하여 그 특성이 많이 좌우된다. 부분방전신호의 주파수성분은 상당히 넓은 영역에 걸쳐서 존재하므로 부분방전신호를 충실히 재생하기 위해서는 넓은 주파수대역(수십 - 수백MHz)을 가진 검출회로를 사용하는 것이 효과적이다. 본문에서는 침대침, 침대평판 그리고 침대구 전극구조에서 발생된 부분방전신호를 측정하고, 검출회로의 임피던스의 파형에 미치는 영향을 살펴본 다음 측정된 부분방전신호에 대하여 FFT(Fast Fourier Transformation)를 이용하여 특징을 추출한 다음 추출된 특징을 이용하여 FCM(Fuzzy C-Means Clustering)를 적용하여 방전원을 분류하였다.

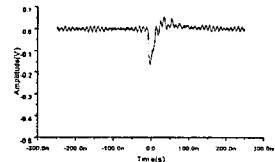
2. 본 론

2.1 실험방법

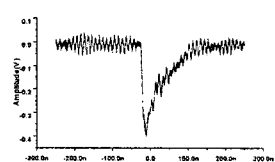
공기중 방전원을 모의하기 위하여 침대침, 침대구, 침대 평판의 세가지 전극구조를 이용하였으며, 그림 1은 각 전극구조를 보여준다. 각 전극구조에서 갭간격은 1cm로 모두 동일하게 조정하여 거리에 따른 차이가 발생하지 않도록 하였으며, 전원전압(5kV, 60Hz)은 coronaless 변압기를 통하여 인가되었다. 발생된 방전파형은 출력임피던스 500Ω에서 측정되어 오실로스코프(1GHz, 5Gs/s)로 파형이 관측되었고 오실로스코프 내 저장장치에 저장되었으며 저장된 파형은 다시 컴퓨터에서 불러들여 다양한 신호처리를 하였다. 이를 통하여 파형의 특징이 검토하였고 방전원을 분류하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

그림1의 각 전극구조에서 발생하는 방전파형은 전극에 연결된 검출회로의 임피던스값에 의하여 파형의 형태에서 차이를 보여준다.



(a) 50Ω인 경우의 파형과 FFT 결과

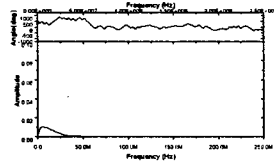
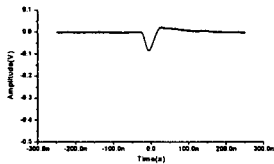


(b) 1MΩ인 경우의 파형과 FFT 결과

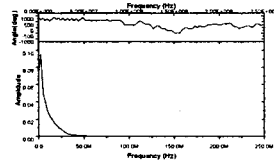
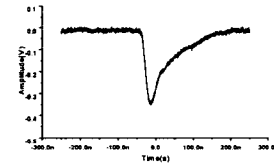
그림 2. 오실로스코프의 입력임피던스를 변화시킨 경우

그림2는 침대평판전극구조에서 검출임피던스 500Ω과 병렬로 오실로스코프의 프로브를 연결하여 오실로스코프의 내부입력임피던스를 각각 1MΩ과 50Ω으로 조정된 경우의 인가된 전압(5kV, 60Hz)의 부주기에서 검출된 방전파형과 그 파형에 대한 FFT결과를 보여준다. 그림

2a의 경우는 그림 2b의 경우에 비하여 낮은 임피던스값에 의하여 그림 2a의 부의 최대값은 그림 2b의 피크값의 약 1/3정도로 작게 측정되었으며, 그림 2b의 경우, 파형의 상승곡선이 오실로스코프의 내부 정전용량(10pF)에 의한 영향으로 단조롭게 상승하는 모습을 보여주고 있다. 이러한 경향은 각 파형에 대한 FFT결과에서도 확인 되듯이 그림 2b의 주파수성분은 저주파수대역에 집중되어 있는 반면에 그림 2a의 파형은 50MHz정도까지 주파수성분이 존재하고 있다. 그리고 그림 2a와 2b의 파형에는 공통적으로 100MHz 부근의 라디오방송 주파수성분(90-120MHz)이 노이즈로서 존재하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 노이즈등의 영향을 제거하기 위하여 20MHz이하 저대역 통과필터를 사용하여 파형을 관찰한 결과가 그림 3a와 3b이다.



(a) 50Ω인 경우의 파형과 FFT 결과

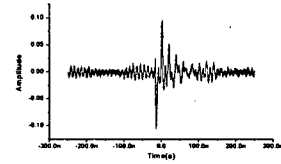


(b) 1MΩ인 경우의 파형과 FFT 결과

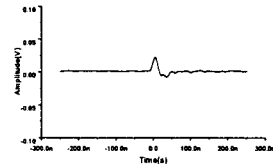
그림3 저역 통과필터(20MHz)를 통과한 경우 오실로스코프 입력임피던스에 따른 파형 및 FFT결과

그림 3a와 3b의 FFT결과를 살펴보면 그림 2a와 2b에서 보여진 100MHz 부근의 라디오 노이즈가 제거된 것을 확인할 수 있으며, 이러한 노이즈의 제거에 의하여 부의 주기에서 발생된 방전파형이 깨끗하게 관찰되었으며, 코로나 파형의 관찰시 저역 통과 필터(20MHz)를 이용하는 것이 타당한 것으로 보인다. 방전을 검출하기 위한 검출회로에 존재하는 외부 임피던스에 의한 영향으로 방전파형에는 왜곡이 발생되며, 방전크기 또한 영향을 받으므로 방전파형에 대한 검출시 검출회로의 임피던스에 대한 선택이 매우 중요하며, 또한 파형에 대한 노이즈의 영향을 줄이기 위하여 필터선택 또한 중요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 각 방전파형의 왜곡이 적을 것으로 예상되는 경우, 즉, 오실로스코프의 임피던스를 50Ω으로 설정하고 저역통과필터(20MHz)를 이용하여 측정된 칩대칩 및 칩대구의 경우는 칩대평판의 그림 3a의 파형과 동일한 형태를 보여주었으므로, 각 전극구조에서 고압부분의 칩단에서 부의 주기가 일어나는

방전상태는 전극구조에 관계없다는 것을 알 수 있었다. 각 전극 구조에 인가된 전원의 양의 주기에 발생하는 방전파형을 관찰하기 위하여 오실로스코프의 입력임피던스는 50Ω으로 설정하고 코로나 방전시와는 달리 저역통과필터(20MHz)를 사용하지 않고 측정하였는데, 측정결과에 의하여, 부의 주기에서의 방전과는 달리 양의주기에서의 방전파형은 전극구조에 의하여 영향을 받으며 파형내에 다양한 주파수 성분을 함유하고 있으므로, 20MHz이하의 저역통과필터를 사용하는 경우 본래의 파형과는 다른 파형이 얻어질 수 있다. 그림 4는 칩대칩전극구조에서 저역통과필터를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 방전신호파형을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 저역통과필터를 사용하지 않으면 본래 파형과는 완전히 다른 파형이 검출되므로 그 특성을 상실하게 된다. 그러므로 각 전극구조에서의 양의주기에서의 방전파형은 저역통과필터를 사용하지 않고 측정하였으며, 측정된 결과는 그림5에 보여진다. 그림 5에서 보듯이 각 전극구조에서 부의 주기에서의 방전파형과는 달리 양의 주기에서의 방전파형들은 전극구조에 따라서 전혀 다른 파형을 보여주고 있으며,



(a) 저역통과필터(20MHz)를 사용하지 않은 경우



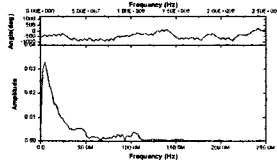
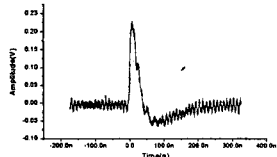
(b) 저역통과필터(20MHz)를 사용한 경우

그림 4 칩대칩 전극구조에서의 방전파형비교

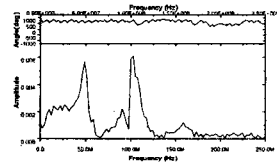
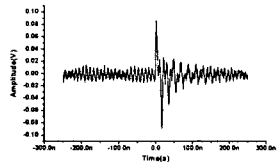
또한 그 FFT 결과도 마찬가지로 방전이 어느정도(부의 주기에서 양의주기로 방전이 이행) 진행된 후 발생되는 파형을 비교하면 방전구조의 차이에 따른 방전원을 분류할 수가 있다. 시간에 따른 방전파형은 특성벡터로서 사용할 경우 일정한 기준 시작점을 정하기가 모호하므로 기준점이 0에서 시작되는 FFT에 의한 주파수 영역의 성분들을 특성벡터로 정하였고, 이의 타당성을 확인하기 위하여 임의의 파형에 대한 비교결과를 상관계수를 이용하여 검토하였다. 상관계수는 두 변량 X,Y 사이의 상관관계의 정도를 나타내는 수치로서 측정값 (x, y)에 대하여 n개인 측정값 (x₁, y₁) (x₂, y₂),...이 주어졌을 때 다음식(1)과 같이 표현된다.

$$\gamma = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

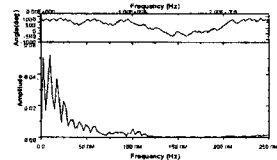
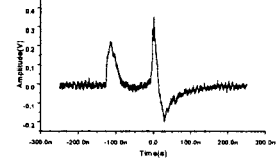
여기서, \bar{x} 와 \bar{y} 는 각각 x,y의 평균값이며, σ_x, σ_y 는 각각 x,y의 표준편차이다. 상관계수 γ 는 항상 부등식 $-1 \leq \gamma \leq 1$ 을 만족시키며, 양의 상관관계가 있을 때는 $\gamma > 0$, 음의 상관관계가 있을 때는 $\gamma < 0$ 이다. 또 상관이 없는 경우에는 $\gamma = 0$ 이 된다.



(a) 칩대 평판인 경우



(b) 칩대칩인 경우



(b) 칩대구인 경우

그림 5 각 전극구조에서 양의 주기에서의 방전파형 및 FFT 결과

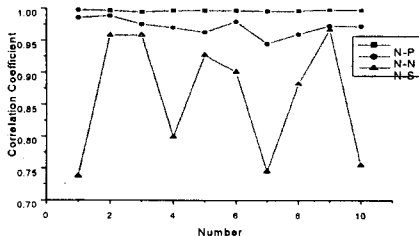


그림 6. 각 전극구조에서의 파형들에 대한 상관계수의 비교 (N-P: 칩대평판, N-N: 칩대칩, N-S: 칩대구)

각 전극구조에서 양의 주기에서 발생된 방전파형을 각

각 11개씩 검출한 후 임의의 파형 한 개에 대한 FFT 결과를 나머지 10개의 파형에 대한 FFT 결과의 상관계수를 조사한 결과를 그림 6에서 보여주고 있으며, 칩대구의 0.87인 경우를 제외하고 모두 0.97이상의 평균 상관계수값을 보여주고 있다. 그러나 칩대구와 칩대평판에 대한 FFT 결과의 상관계수를 구한 경우에도 약 0.7이상의 값을 보여주었다. 이러한 결과는 그림 5에서 볼 수 있듯이 실제 파형에서는 차이가 있으나, FFT에 의한 주파수 성분의 분포는 거의 비슷하기 때문이며, 또한 전극간 거리가 1cm 이므로 칩대구의 전극구조는 칩대칩의 전극구조보다는 칩대평판의 전극구조와 어느정도 비슷하다고 볼 수 있다. 이상과 같은 결과를 토대로 각 전극구조에서의 방전파형 10개에 대한 FFT 결과중 특성벡터로서 각 파형당 35개의 값을 취하여 이를 FCM(Fuzzy C-means clustering)을 이용하여 분류하였으며 분류한 결과는 그림 7에서 보여진다.

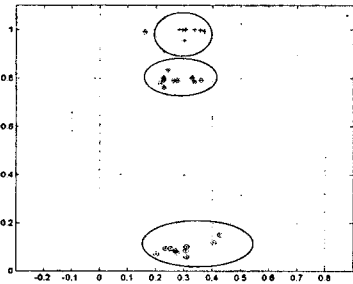


그림 7 FCM 결과(○: N-N, □: N-P, △: N-S)

그림 7에서도 알 수 있듯이 칩대칩의 경우와 다른 두 경우와 확실히 구분된다. 칩대구와 칩대평판은 어느정도가깝게 분포되어 있어 구별이 약간 어렵다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

각 전극구조에서 양의 주기와 음의 주기에서 발생하는 방전파형에 대하여 오실로스코프의 입력임피던스에 따른 파형의 변화와 저역통과필터에 의한 파형의 재생과 왜곡을 검토하였다. 음(-)의 주기에서 발생하는 방전파형은 각 전극구조에서 고압측에 연결된 칩대에서 발생하는 파형으로서 모두 유사하였고, 양(+)의 주기에서 발생하는 방전파형은 각 전극구조에 따라 각 방전파형의 형태에 차이를 보였다. 이러한 차이를 이용하여 FFT변환한 결과에서 특징벡터를 산출한 후 각각의 상관계수를 비교하였고, 이러한 결과를 토대로 FCM을 이용하여 각 방전파형에 따른 부분방전원을 분류하였다. 결과적으로 전극구조에 따른 방전원의 분류를 위하여 양의 주기에서 발생하는 파형을 이용하는 것이 효과적이었다.

(참 고 문 헌)

- [1] E. M. Lalitha, L. Satish, "Wavelet Analysis for Classification of Multi-source PD Patterns", IEEE Trans. DEI, Vol. 7, No. 1, pp.40-47, Feb.2000
- [2] H. Suzuki, T. Endoh, "Pattern Recognition of Partial Discharge in XLPE Cables Using a Neural Network", IEEE Trans. DEI, Vol. 27, pp.543-549, 1992
- [3] Y. Tian et al, "Application of Acoustic Emission Techniques and Artificial Neural Networks to Partial Discharge Classification", IEEE conference, Boston, MA USA, April 7-10, 2002