

낮은 주파수의 평판형유전체장벽방전계의 방전출력결정방법

임현철, 김명철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《기초과학부문들을 발전시켜야 나라의 과학기술수준을 빨리 높일수 있고 인민경제 여러 분야에서 나서는 과학기술적문제들을 원만히 풀수 있으며 과학기술을 주체성있게 발전시켜나갈수 있습니다.》(《김정일선집》 증보판 제10권 485페이지)

유전체장벽방전은 높은 기체압력조건에서 플라스마를 효과적으로 발생시킬수 있는 방전방식으로서 현실에서 광범히 응용되고있다.

유전체장벽방전의 방전특성에 대한 연구는 이 방전방식이 현실에 광범히 응용되고있는 반면에 방전의 기초과정과 특성이 완전히 밝혀지지 않았고 방전과정을 연구하는 방법이 아직 초보적이고 체계화되지 못한것과 관련하여 중요한 문제로 제기된다.

다른 방전방식과 달리 유전체장벽방전은 교류전기마당속에서 일어나는 임펄스방전으로서 직류방전이나 낮은 주파수의 교류방전을 연구하는 방법으로써는 그것의 방전특성을 옳게 평가할수 없으며 빠른 과정을 측정하는 수단들이 적용되어야 한다. 최근시기에 유전체장벽방전의 방전특성을 평가하는 새로운 방법이 연구되고 방전특성을 전면적으로 해석하기 위한 연구[1, 2]가 적극화되고있다.

우리는 200MHz의 오실로그래프를 리용하여 낮은 주파수의 유전체장벽방전의 방전출력을 평가하는 한가지 방법을 연구하고 평판형유전체장벽방전계에 적용하였다.

1. 이론적기초

유전체장벽방전의 방전특성실험원리도는 그림 1과 같다.

교류고압전원의 전압신호(R_1 과 R_2 로 이루어진 분압기로 얻는 전압)를 오실로그래프의 X단자에, 유전체장벽방전계의 접지단에 하나의 콘덴사 C_M (측정 콘덴사)을 직렬연결하고 이 콘덴사의 두 극판사이전압신호(측정 콘덴사에 축적된 전하에 의해 형성된 전압)를 오실로그래프의 Y단자에 걸어주어 유전체장벽방전의 방전상태를 반영하는 그림(리싸쥬도형)을 얻는다.

주파수가 수십kHz까지의 낮은 주파수 대역에서는 도형이 하나의 평행4변형을 이룬다.(그림 2) 이 도형으로부터 유전체장벽방전의 구조와 관련되는 등가용량, 방전출력, 방전개시전압, 방전공간전압을 비롯한 방전파라미터들을 평가할수 있다.

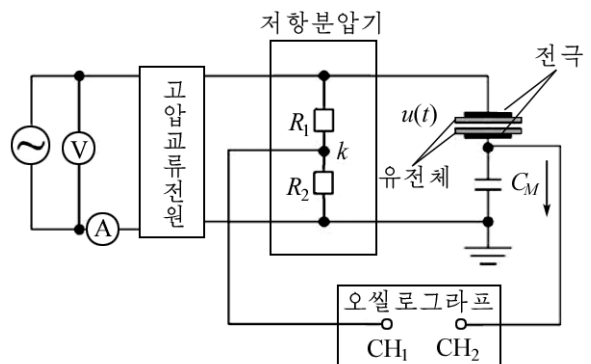


그림 1. 유전체장벽방전의 방전특성실험원리도

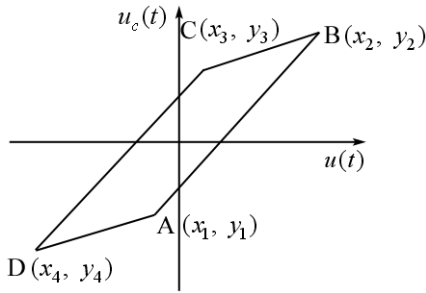


그림 2. 유전체장벽방전에 대한 리싸쥬도형

1) 방전계의 등가용량결정

그림 2에서 평행4변형 ABCD의 네 변은 한 주기의 방전과정을 나타내는 4개의 동작단계에 대응된다.

그림 2에서 AB와 CD는 미시방전단계로서 이 단계에서는 $C_g = 0$ 으로 되고 회로에는 오직 유전체전기용량 C_d 가 존재하며 열림상태후의 기체간극량단전압 $u_g(t)$ (방전유지전압 u_m)는 작고 또 불변으로 유지되며 따라서

$$\frac{du_g}{dt} = \frac{du_m}{dt} = 0 \quad (1)$$

으로 된다. 그리고

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{dC_M u_c(t)}{dt} = \frac{dC_d u_d(t)}{dt}$$

이므로 다음식을 쓸수 있다.

$$i(t) = C_M \frac{du_c(t)}{dt} = C_d \frac{du_d(t)}{dt} = C_d \frac{d(u(t) - u_g(t))}{dt} = C_d \frac{du(t)}{dt} \quad (2)$$

선분 AB의 경사도가 $k_{AB} = k_{CD} = \frac{\Delta u_c(t)}{\Delta u(t)} \approx \frac{du_c}{du} = \frac{du_c / dt}{du(t) / dt} = \frac{C_d}{C_M}$ 이므로

$$C_d = k_{AB} C_M \quad (3)$$

으로 된다. 따라서 점 A와 B의 자리표만 알면 k_{AB} 를 구할수 있다.

오셀로그래프의 x 축감도를 k_x (V/눈금), y 축감도를 k_y (V/눈금)로 놓는다.

분압기의 분압비는 k , C_M 은 이미 알고있다.

따라서 방전단계의 유전체전기용량은

$$C_d = \frac{(y_2 - y_1)k_y}{(x_2 - x_1)k_x k} C_M \quad (4)$$

이다. 그림 2에서 BC, DA단계는 방전꺼짐단계이다.

전원이 전극사이의 충전기용량 C (C_g 와 C_d 의 직렬연결)에 대하여 충전되기때문에 선분 BC의 경사도로부터 충전기용량 C 를 구할수 있다.

$$C = \frac{(y_3 - y_2)k_y}{(x_3 - x_2)k_x k} C_M \quad (5)$$

C_g 와 C_d 가 직렬연결되어있으므로

$$C = \frac{C_d C_g}{C_d + C_g} \quad (6)$$

이며 따라서

$$C_g = \frac{C C_d}{C_d - C} \quad (7)$$

이다. 여기서 $C_d \approx \epsilon_d S / l_d$ 이다. 그리고 S 는 유전체의 유효면적(대전립자들이 유전체우에 뒤덮이는 실제면적), ϵ_d 는 유전체의 유전률, l_d 는 유전체두께이다.

2) 방전출력(P)의 결정

만일 방전과정에 수송된 전하가 Q 이면 방전회로에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(C_M u_c(t))}{dt} = C_M \frac{du_c(t)}{dt} \quad (8)$$

그러므로 방전출력 P 는

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i dt = \frac{C_M}{T} \int_0^T u(t) \frac{du_c}{dt} dt = f C_M \oint u(t) du_c = f C_M (k+1) \oint u_{R_2} du_c = f C_M (k+1) S \quad (9)$$

로 된다. 여기서 u_{R_2} 는 분압기의 저항 R_2 에 걸리는 전압이다. 이것은 오실로그래프에서 x 축에 대응된다.

이로부터 리싸쥬도형의 면적 S 를 구하여 방전출력을 평가할수 있다.

2. 리싸쥬도형에 의한 방전특성평가

그림 1의 실험장치에서 교류전원입구전압은 0~220V에서 조절할수 있으며 그에 따라 교류고압전원은 0~10kV에서 동작할수 있다.

전극은 크기가 45mm×45mm, 전극사이거리가 5mm인 평판형불수강전극을 리용하며 방전공간에서 발생되어 이동하는 전하량의 변화는 방전회로에 직렬연결된 1μF의 전기용량 C_M 량단의 전압을 측정하여 얻는다.

측정에는 수자식기억오실로그래프(《UTD2000》)를 리용한다.

1) 일정한 방전전압조건에서의 방전특성

42μm의 두께로 티탄산바리움을 입힌 평판형전극에서 방전전압이 8kV, 주파수가 60Hz, 방전간극이 4mm일 때 측정된 방전계의 리싸쥬도형과 전압, 전류신호파형은 그림 3과 같다.

그림 3으로부터 등가전기용량값들이 $C = 7.79\text{pF}$, $C_d = 268.55\text{pF}$, $C_g = 8.02\text{pF}$ 라는것을 계산할수 있다. 이때 방전출력 P 는 1.77W이다.

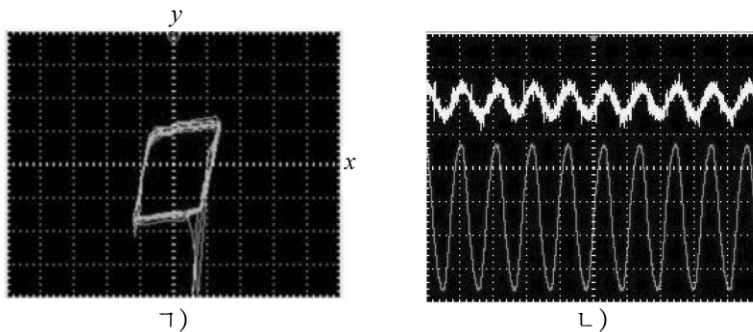


그림 3. 42μm의 두께로 티탄산바리움을 입힌 평판형전극에서 방전전압이 8kV, 주파수가 60Hz, 방전간극이 4mm일 때 측정된 방전계의 리싸쥬도형(1))과 전압, 전류신호파형(2))

1)에서 윗쪽그림—방전전류파형, 아래쪽그림—전압파형

조건들이 앞서서와 같을 때 방전전압을 4~8kV로 변화시키면서 리싸쥬도형을 얻고 그로부터 방전계의 유전체전기용량 C_d , 기체간극전기용량 C_g 및 등가전기용량 C , 방전 출력을 평가할수 있다.

2) 방전전압에 따르는 방전계의 등가전기용량의 변화특성

방전전압에 따르는 C_d , C_g 의 변화특성은 그림 4와 같다.

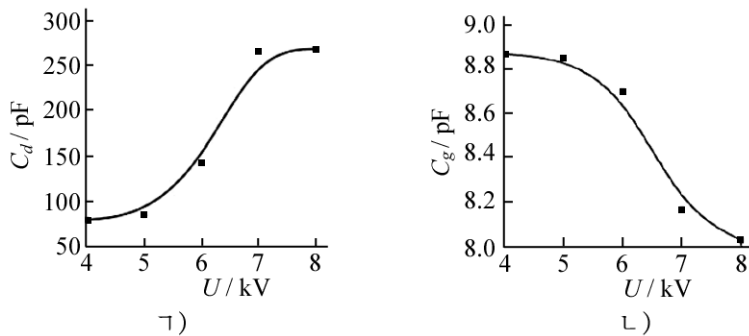


그림 4. 방전전압에 따르는 C_d (1)), C_g (2))의 변화특성

그림 4의 1)로부터 알수 있는바와 같이 외부전압의 증가에 따라 C_d 는 점차적으로 커지는데 처음에 증가폭은 비교적 크고 외부전압이 어떤 값에 도달한 후 증가폭은 감소하며 평탄해지는 경향성을 나타낸다.

전압이 증가될 때 유전체장벽방전이 세지고 방전공간에서 미소방전통로의 수는 그에 따라 증가된다. 이때 리싸쥬도형의 면적 S 는 커지고 C_d 는 더 커진다. 외부전압이 어떤 값에 도달할 때 유전체표면은 방전섬조로 가득 채워지고 S 의 명백한 변화가 더는 나타나지 않으며 C_d 는 안정되는 경향성을 가진다. 또한 그림 4의 2)로부터 C_g 는 외부전압이 증가하는데 따라 감소한다는것을 알수 있다. 이것은 방전전압이 증가함에 따라 전자들의 운동에너지가 더욱 커지고 그에 따라 이온화가 보다 강화되어 유전체표면에 루적되는 전하량이 보다 커지는것과 관계된다.

그림 5에 방전전압에 따르는 방전부하용량의 변화특성을 보여주었다. 그림 5에서 보는바와 같이 방전부하용량 C 는 방전전압이 증가하는데 따라 처음에 증가, 다음에 감소하는 특성을 나타내며 따라서 중간에 하나의 극대값을 가진다.

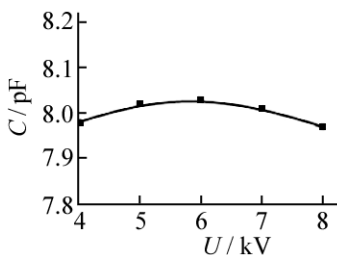


그림 5. 방전전압에 따르는 방전부하용량의 변화특성

전체 방전계는 유전체와 기체간극으로 이루어져있는데 계의 전기용량은 C_d 와 C_g 가 직렬연결된 전기용량 C 로 등가시킬수 있다. 이것은 방전전압이 증가함에 따라 방전구역이 차지하는 면적 S_{eff} 가 증가하고 그에 따라 C_d 는 증가하는 효과만을, C_g 는 S_{eff} 에 따르는 증가효과와 함께 기체간극사이에서 이온화, 전하루적 및 그것으로 인한 전기마당과 외부전기마당의 상쇄로 나타나는 기체유전률의 감소 즉 C_g

의 감소효과를 동시에 나타내는것과 관련된다.

3) 방전전압에 따르는 방전출력의 변화특성

방전전압에 따르는 방전출력의 변화특성은 그림 6과 같다.

방전전압이 비교적 낮을 때에는 방전전압이 증가함에 따라 출력이 뚜렷하게 증가하고 중간부분에서는 출력이 매우 완만하게 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 방전전압이 높을 때에는 방전전압이 증가하는데 따라 방전출력이 급격히 증가하는 특성을 나타낸다.

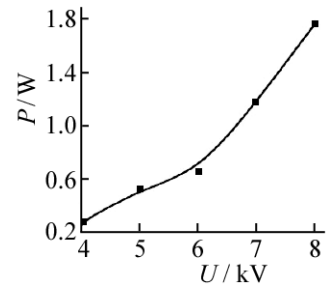


그림 6. 방전전압에 따르는 방전출력의 변화특성

맺 는 말

낮은 주파수의 유전체장벽방전계의 방전특성은 방전계에 걸어주는 방전전압신호와 방전공간에서 변화되는 전하량에 대한 신호전압으로부터 얻어지는 리싸주도형으로부터 평가할 수 있다.

유전체로서 티탄산바리움을 쓴 경우 방전전압을 4~8kV에서 변화시킬 때 유전체의 등가전기용량은 79.1pF로부터 268.5pF로 증가하였으며 기체간극에 대한 등가용량은 방전전압이 증가하는데 따라 감소, 방전계의 등가전기용량은 방전전압의 증가에 따라 먼저 증가, 다음에 감소하는 특성을 가진다.

방전전압이 증가함에 따라 방전출력은 방전전압이 낮은 부분에서는 방전출력이 뚜렷하게, 중간부분에서는 완만하게, 높은 부분에서는 급격히 증가하는 특성을 나타낸다.

참 고 문 헌

- [1] Jun Wang et al.; Journal of Jiangsu University, 29, 5, 398, 2008.
- [2] 屈广周; 广东工业大学学报, 28, 3, 1, 2011.

주체 109(2020)년 12월 5일 원고접수

Determination Method of the Discharge Power in Low Frequency Flat Plate DBD System

Im Hyon Chol, Kim Myong Chol

We studied a method to estimate the discharge power of a low frequency dielectric barrier discharge (DBD) using a 200MHz oscilloscope and applied it to a flat plate DBD system.

Keywords: dielectric barrier discharge (DBD), discharge characteristics, Lissajous figure