

Triggered Spark Gap의 고전압 방전제어특성 연구

손 윤규*, 김 광기, 박 상욱, 조 무현
선형가속기실, 포항 가속기연구소, 포항공과대학교

Characteristics of High Voltage Discharge using Triggered Spark Gap

Yoongyu Son, Kwanggi Kim, Sangwook Park, Moohyun Cho
Linac Division, Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH

Abstract - A triggered spark gap switch was fabricated and its high-voltage discharge characteristics were studied. The switch is composed of two main electrodes and one trigger electrode which is placed perpendicular to the main one. Spark gap distance was fixed by 25 mm. This device has been operated without self firing at the pulse repetition frequency from 1 to 20 Hz limited by the charging current, and the hold-off voltage from 10 to 30kV. An IGBT switch and igniter coil (originally used in a car) were adopted for a trigger circuit. In this article preliminary switch characteristics of the spark gap switch are reported with the emphasis on the description of the trigger circuit.

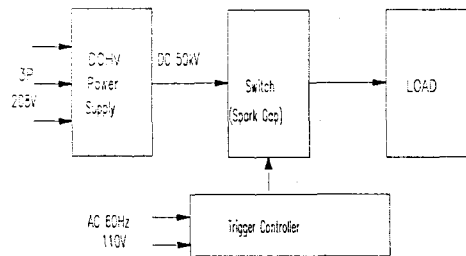
1. 서 론

고전압에서 대출력펄스를 스위칭 할 수 있는 스위치 개발에 오래 전부터 많은 연구가 진행되고 있다. 고전압 대전류제어용 스위치로는 현재 싸이라트론이나 진공관이 사용되고 있으며, 임펄스 전압시험기로 간혹 스파크 갭 스위치가 사용되고 있다. 연속적인 임펄스를 얻기 위하여 다중전극을 사용한 로타리 스파크 갭스위치를 사용하기도 한다. 스파크 갭의 경우는 자발적으로 트리거 하는 방식과 강제트리거 방식이 있는데, 본 연구에서는 스파크 갭스위치를 고정시키고 양전극사이에 침전극(트리거)을 설치하여 트리거 전압 인가 시에 주전극에 걸린 고전압이 스위칭되게 하는 전기적인 회로실험을 하였다.

2. 본 론

2.1 시스템의 구성

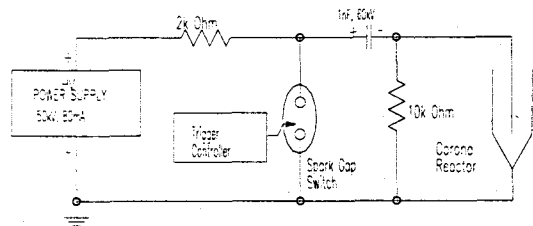
본 실험장치의 구성은 그림 1에서 같이 전원부, 충전부, 방전부로 되어있다. 전원부는 DCHV(+/-50kV, 160mA, Glassman社)이며, 충전부는 충전저항과 충전 커패시터로 구성되어있고 충전커패시터 입력단자의 접지전극사이에 스파크 갭스위치가 삽입되어있다. 방전부의 말단부하로



[그림 1] 시스템 구성도

는 소형 wire-plate type 코로나방전기를 설치하였다. [그림 2]는 전기적인 연결을 보여주고 있다. 본 실험에서는 방전부인 스파크 갭의 전기적인 방전실험을 하였다. 스파크 갭은 주 전극과 침전극(트리거전극)으로 되어있고, 침전극에 방전지령을 주는 트리거회로와 트리거회로의 보조전원장치로서 구성된다.

트리거 지령신호는 외부 펄스발생기의 TTL 신호를 받아서 증폭시켜주는 회로로 이루어져 있다. 주 전극사이에는 최대 30kV의 전원을 인가할 수 있도록



[그림 2] 시스템 전원결선도

주 전극을 이격시켜놓고 침전극에 방전지령 신호가 입력 되었을 때 고 전압이 주 전극사이에 방전되는 구조로 되어있다.

2.2 트리거 장치제작 및 동작원리

트리거 장치는 자동차에 쓰이는 점화코일(IGNITER)

을 사용하였고, 보조전원은 교류전압 110V를 직류전원으로 변환시켜 커패시터에 충전되도록 하였다. 커패시터에 충전되는 에너지의 수준은 식 1로 표시된다.

$$W_s = \frac{1}{2} CV^2 \text{ [J]} \quad \text{식 (1)}$$

W_s : 커패시터에 저장되는 에너지

C : 커패시턴스(Capacitance)

V : 커패시터의 충전전압

커패시터가 충전되는 동안 IGBT는 단절된 상태 즉 회로가 차단된 상태로 되어 충전을 완료하고 IGBT의 게이트에 신호가 보내지면 IGBT가 도통되어 회로가 형성된다. 그러면 커패시터에 충전된 전류는 IGBT를 거쳐서 점화코일의 1차코일로 급격히 방전이 된다. 1차코일의 급격한 전류변화에 의해 2차코일에는 고전압이 유도된다. 커패시터의 방전이 종료되면 IGBT는 다시 차단되고 커패시터는 재충전된다. 점화코일 2차 유기고전압의 형성기간은약 1.5ms로 된다. 13kV, 2.5ms의 폭을 가진 펄스 전압형태로 나타나고 이전압은 최종적으로 스파크 갭 침전극에 가해지며 주전극의 집지전극과의 1차 방전이 생기고 이어서 주전극사이에서 방전현상이 일어나게 된다. [그림 4]는 Igniter 최종단 출력전압으로서 침전극과 주전극의 집지축에 인가되며, 정전압 파고치와 부전압의 파고치에서 트리거되는데 부전압에서의 트리거는 자발방전을 일으키는 원인이 된다. 이를 방지하기 위해서는 Igniter출력축과 침전극사이에서 역전압을 차단할 다이오드 삽입이 필요하다.

트리거 전원장치의 용량은

$$P_{psavr} = \frac{1}{2} \times 47 \times 10^{-6} \times 150^2 = 0.53 \text{ [J]} \quad \text{식(2)}$$

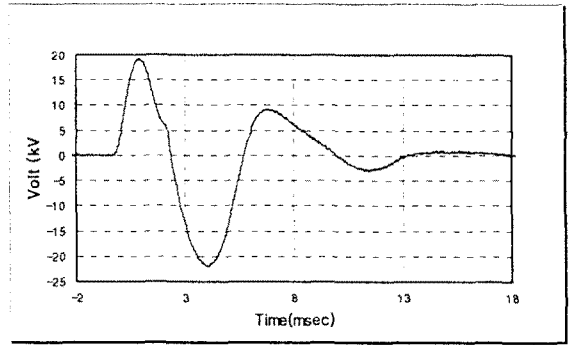
트리거 회로에서 침전극에 전달되는 에너지는

$$E_{MAX} = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-6} \times 150^2 = 11 \text{ [mJ]} \quad \text{식(3)}$$

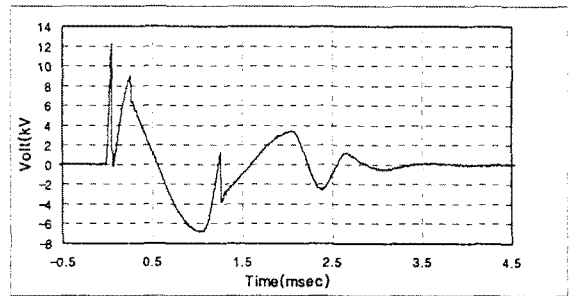
최대 반복률(운전주파수)

$$PPR_{max} = \frac{P_{psavr}}{E_{MAX}} = \frac{0.53}{11 \times 10^{-3}} = 53 \text{ [Hz]} \quad \text{식(4)}$$

따라서 제작된 트리거 회로의 운전주파수는 50Hz로 된다. 점화코일(IGNITER)의 1차와 2차코일값은 다음과 같다.



(a)



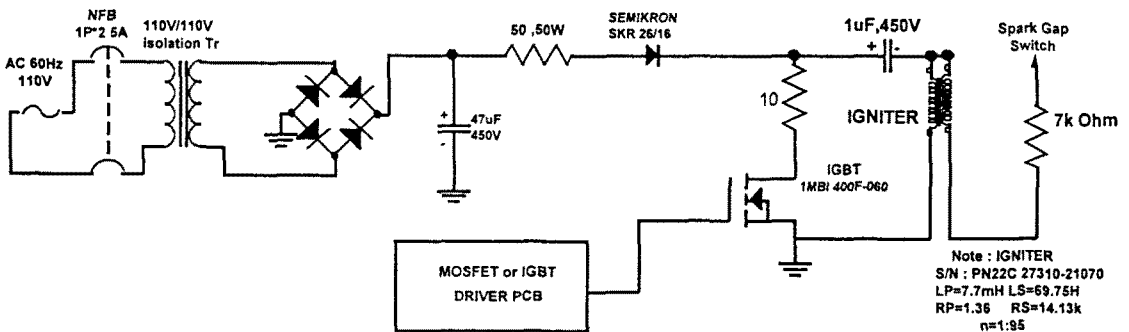
(b)

[그림 4] (a) IGNITER의 출력파형
(b) 고전압 인가상태에서 측정된 IGNITER의 출력전압 파형

$L_p=7.7\text{mH}$ $L_s=69.75\text{H}$
 $R_p=1.36\Omega$ $R_s=14.13\text{k}\Omega$
 $N=1:95$

L_p : Igniter1차측 인덕턴스 L_s : Igniter2차측 인덕턴스
 R_s : Igniter1차측 임피던스 R_s : Igniter2차측 임피던스
 N : 권수비

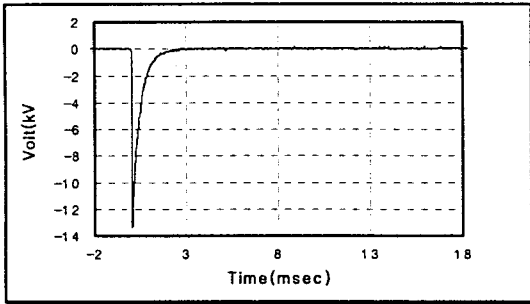
[그림 3]의 트리거 회로의 보조전원장치에 쓰여진 절연 변압기(Isolation Transformer)는 상용전원의 접지와 펄스회로의 접지를 분리하는 기능을 하고 측정장비로 각종 파형을 관측시 노이즈 방지를 위한 접지분리기능을 해준다. 스위치 전단의 다이오드는 스위칭시에 생기는 역전압에 대하여 회로를 보호할 목적으로 삽입하였다.



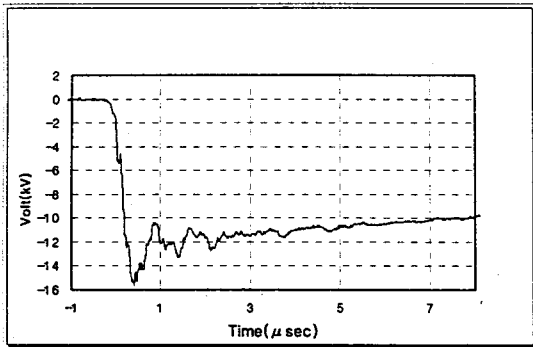
[그림 3] Trigger Control의 상세회로도

2.3 실험

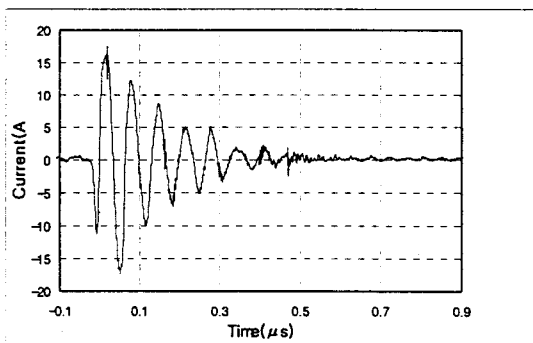
본 실험은 고전압 전원장치(+/-50kV, 160mA, Glassman)와 보호용 다이오드, 충전저항, 충전커패시터로 회로를 구성하고 부하로는 자체 제작한 소형 wire-plate type 코로나 방전기를 사용하였다. 스파크 갭 스위치는 직경 50mm의 아크릴판을 100mm 길이로 하여 양단을 10mm 두께의 아크릴판으로 밀봉한 다음 탭을 내고 그사이에 구리전극을 25mm 간격으로 설치하고 중간에 침전극과 공기관을 설치하였다. 침(Trigger)전극은 바늘을 사용하였다. 트리거신호를 가하지 않은 상태로 고전압을 서서히 증가시키면 주전극사이의 자발방전이 발생하도록 하여 주전극사이의 거리에 따른 방전전압을 측정



(a)



(b)



(c)

[그림 5] (a) 충전캐패시터의 충전전압파형
(b) (a)의 확대파형
(c) 주 회로에 흐르는 전류파형

하였다.

위의 측정은 침전극에 트리거신호를 인가하여 주전극에서 방전이 일어나도록 하고 트리거신호 가변으로 스파크 갭 스위치의 실패율(Mis-fire Ratio)을 측정하고 주전원의 전압강하에 의한 최대 운전주파수를 결정하였다.

[그림 5] (a)~(c)는 충전전압과 부하전류를 측정한 것이며 [그림 5]의 (c)는 Wide-band Current Monitors로 측정된 것으로 코로나 방전이 형성되는 동안에 흐르는 전류 파형을 보이고 있다. [그림 5]의 (a)에서 펄스의 하강 시정수는 초기 충전 커패시턴스와 10kΩ 병렬저항에 의한 방전시정수에 해당된다. [그림 5]의 (c)에서 볼 수 있는 약 20MHz의 전류진동은 코로나 발생기의 최초커패시턴스 및 선로인덕턴스에 의해 형성된 것으로 분석되었다. 기타 스위치 특성실험으로 스파크 갭 사이에 고전압을 가했을 때 방전전압의 자체방전(Self-firing)과 정전과 과전압(Static-Breakdown Voltage (SBV))을 측정하고 주전극의 이격거리를 달리하면서 SBV를 측정하였다.

스파크 갭 사이에 고전압을 인가한 상태로 트리거신호를 가할 시 원하지 않은 상태에서의 자발트리거 현상이 발생함을 확인하였다. 스파크 갭사이의 기체가 연속방전에 의해 절연특성의 변화를 초래할 수 있는 이물질 축적을 방지하기 위해 공기를 주입하였다.

3. 결 론

고전압 스위치로 스파크 갭을 사용하였고 주회로와 부하단 사이에서 위치를 바꾸어가면서 실험하였다. 스파크 갭스위치를 사용할 경우 +극성 코로나 방전과 -극성 코로나 방전을 위해 전원장치의 극성절환없이 스위치와 충전커패시터의 위치를 간단히 절환함으로써 구현 할 수 있다. 앞으로 수행해야 할 연구과제로는 100Hz 이상의 높은 반복 주파수에서 방전특성이 우수하며 고신뢰성을 갖는 스파크 갭 스위치를 개발하는 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김 재휘 저, "자동차 전기.전자", pp397~428 1997년
- [2] 전 춘생 저, "방전·고전압공학"