

전기트리거용 Inverse Pinch Switch의 특성에 관한 연구

김 영배*, 조 국희, 이 흥식, 임 근희
한국전기연구원

A Study on Characteristic of a Electrically Triggered Inverse Pinch Switch

Young-Bae Kim*, Kook-Hee Cho, Hong-Sik Lee, Geuu-Hie Rim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The current density in the IPS(Inverse Pinch Switch) is 1/62 times less than that in the spark gap.

It was shown that in comparison with the spark gap, the switch inductance of the IPS is largely reduced and the useful lifetime is significantly increased.

In the paper, the design technology of a closing switch, especially IPS triggered by electrical signal for pulsed power system with a very high voltage and current is presented.

1. 서 론

펄스파워장치에 사용되는 closing switch의 종류는 다양하게 많다. 이를 switch들은 각각의 특징을 가지고 있다. 예를 들면 Thyratron의 경우는 closing동작시에 아주 빠른 rise time을 가진 펄스의 사용에 적합하지만 펄스폭이 큰 전류($I \times T$) 특성이 크지 못하고, Spark-Gap switch 의 경우는 큰전류($I \times T$)특성은 좋으나 소음과 Z-Pinch현상에 의한 전극면 손상이 심하게 발생한다. 그래서 이러한 단점을 보완 할 수 있는, 즉 펄스파워장치를 이용하여 파암 장비나 Rail-Gun 및 전자 성형등 펄스파워를 이용하는 장치에 사용할 수 있는 switch를 개발 하고자 한다.

본 논문에서는 IPS에 대한 기본적인 원리 및 특성을 습득하여 전기 트리거 방식을 연구하였다. 특히 트리거 시에 전극의 전체면에서 일정하게 스윗칭 플라즈마가 생기게 하기 위한 동시트리거 문제를 해결 하였다. 1개의 전기트리거 전극은 플라즈마 상태가 일정치 않으므로, 트리거 전극을 90 °간격으로 cathode에 4개소 설치하여 트리거 펄스발생기를 1개 채널에서 4개 채널로 동시 트리거 실험을 한 결과 100[kA]의 전류를 흘렸을 때 뚜렷하게 inverse pinch 현상이 관찰되어 전극의 수명을 연장 시킬 수 있으리라 사료 된다.

2. 본 론

2.1 전기 트리거 기법

본 논문에서 실험에 사용된 IPS의 구조와 전기트리거의 원리는 Fig.1 과 같이 동축형 구조이다.

전기 트리거형 IPS는 트리거 전극을 여러개 설치하여 anode와 cathode전극의 전체면을 균일하게 방전을 시켜야만 hot spot에 의한 영향을 줄여서 전극의 손상을 방지 할 수 있으며 inverse pinch 효과를 기대 할 수 있다. 그리고 트리거 전극에 가해지는 펄스는 수ns의 아주 빠른 상승시간을 가진 펄스가 필요하다. 또 트리거 펄스 발생기에서 펄스를 전송시키는데 방해가 될 요인들을 최대한 줄일 수 있는 조건으로 회로를 구성해야 한다. 전송선로는 길이변화에 따라 지연 특성이 나타날 수 있는데, 이를 방지하기 위해서 4개의 트리거 전극으로

연결되는 케이블의 길이를 같게 하고, 각각의 트리거 전극을 균일하게 제작하였다. 그리고 트리거 전극을 제작 시 전극 4개를 완벽하게 똑같이 가공을 하였다고 할수 있으나 전기적으로는 4개의 트리거 전극이 똑같지가 않으므로 각각의 트리거 전극에서의 Jitter등 여러개의 트리거 전극을 동시에 트리거 시킨는 어려운 문제도 고려 하였다.

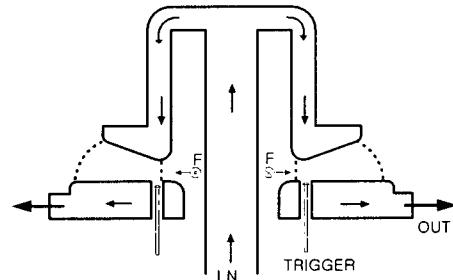


Fig.1 IPS의 전기트리거 및 inverse pinch 원리

2.1.1 1채널 트리거펄스 발생기

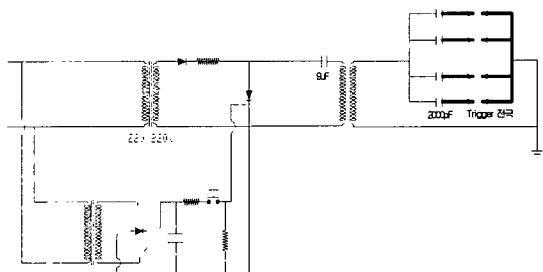


Fig. 2 1채널 트리거 펄스 발생기의 회로

동시에 여러개의 트리거 전극을 트리거 시키는 방법은 Fig.2와 같이 한 개의 펄스 트랜스를 사용하여 출력측에 고압 capacitor를 연결하고 임피던스를 배분하여 각각의 트리거 전극에 펄스를 전송하는 방식이다. 1채널 트리거 장치에서는 트리거 전압이 트리거 전극에 거의 동시에 인가되는 것을 오실로스코프 상에서 확인을 하였으나 임피던스 배분 때문에 트리거 전극에 가해지는 에너지가 적으로 플라즈마 형성이 미약해서 동시트리거가 50%정도만 일어 났었다.

2.1.2 4채널 트리거펄스 발생기

Fig.3와 같이 펄스 발생부를 4개 설치하고 고압스위치는 1개소 설치하여 4개의 펄스를 동시에 트리거 전극으로 전송하는 방식이 있다.

4채널 트리거펄스 발생기에서는 고압 스위치를

Sphere Gap 형태의 스위치를 사용하였다. 회로상의



Fig. 3 4채널 트리거 펄스 발생기의 회로

저항소자와 충전용 커패시터의 특성오차에 때문에 각 채널에서의 발생되는 펄스의 지연이 발생 할수 있으나 저항소자의 저항값을 변화 시켜서 파형의 rise time이나 펄스폭을 쉽게 가변할수 있는 장점이 있다. 또한 충전용 커패시터의 용량이 크면 트리거 전극에 전달되는 에너지는 대단히 크므로 트리거시에 충분한 플라즈마 채널을 형성할수 있다.

2.1.3 전기 트리거형 IPS제작

실험에 사용하기 위해 제작된 전기 트리거형 IPS의 구조도는 Fig.4와 같다. 그림에서와 같이 트리거 전극은 cathod에 4개 설치하였고 Z-Pinch과 Inverse Pinch 현상을 관측하기 위해 아크릴 챔버 형태로

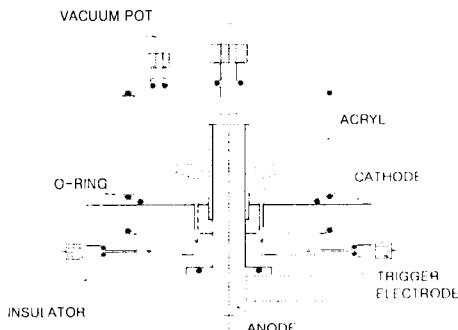


Fig. 4 전기 트리거형 IPS의 구조도

제작 하였다. 특히 anode 전극 상부에는 Z-Pinch를 현상을 일으키기 위해서 전원을 인가 할수 있는 터미널을 설치하여 Z-Pinch현상을 관측할수 있게 하였으며, anode전극 아래쪽의 터미널에서는 Inverse-Pinch 현상을 관찰 할수 있는 구조로 제작 하였다.

2.2 실험 및 결과

2.2.1 동시트리거 실험

동시 트리거 실험은 Fig.4의 챔버에 Fig.2와 Fig.3

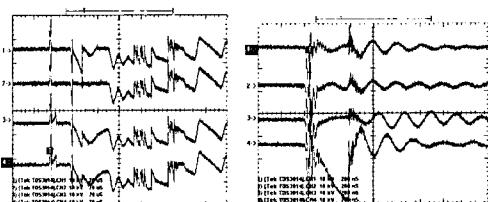


Fig. 5 1채널 트리거 펄스 발생기의 트리거거시의 파형
(左)시간축20μs/div (右)시간축200ns/div

의 트리거펄스 발생기를 이용하여 동시 트리거 시험을 한결과 Fig.5 와 Fig.6과 같은 파형을 얻을수 있었다.

Fig.5에서 나타난 바와 같이 1채널 장치의 트리거거시

에는 동시 트리거는 잘되나 실제 전극에 가해지는 플라즈마 상태가 각 전극마다 일정치 않다. 그러나 4채널 장치는 플라즈마 상태가 전압 파형 끝부분 까지도 일정하게 나타나고 있음을 확인할수 있었다.

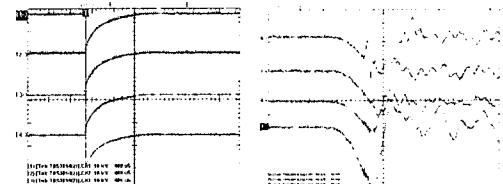
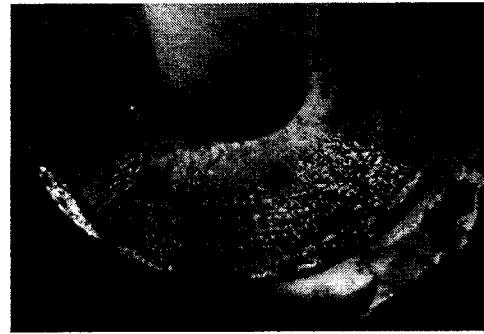


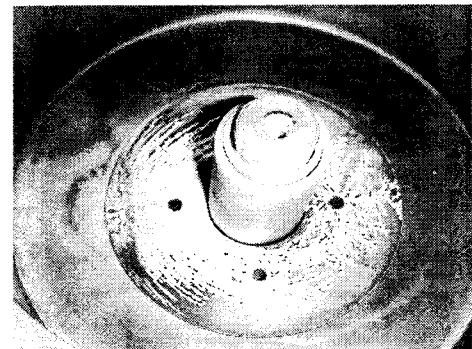
Fig. 6 4채널 트리거 펄스 발생기의 트리거거시의 파형
(左)시간축20μs/div (右)시간축200ns/div

2.2.2 Inverse Pinch 와 Z-Pinch현상 실험

Fig.7는 100kA 전류를 수회 통전후의 Cathode전극의 마모 상태를 보여주는 사진이다. (a)는 Fig.4의 전극구조에서 anode전극의 하부 터미널에서 전류를 인가한 경우로서 방전 형상이 안쪽에서 바깥쪽으로 균일하게 나타나 있으므로 Inverse Pinch현상이 일어난 흔적임을 알수 있고, (b)는 anode전극의 상부 터미널에서 전류를 인가한 경우로서 cathode전극 한 곳에서만 방전이 일어난 흔적을 나타나 Z-Pinch현상이 발생한 것을 알 수 있었다



(a) Inverse-Pinch현상



(b) Z-Pinch현상
Fig. 7 전류 통전후의 Cathode 전극 상태

2.2.3 전류 통전시의 트리거신호의 영향

Fig.9의 파형은 Fig.8의 회로로 실험한 파형인데 좌측 파형은 capacitor bank에 접지를 한 경우의 파형이다. 우측 파형은 IPS에 접지를 한 경우의 파형이다. 여기서 좌측 파형은 전기트리거 신호가 IPS에 인가 되었을때 회로상의 임피던스에 의한 전위를 상승시키는 효과가 전압

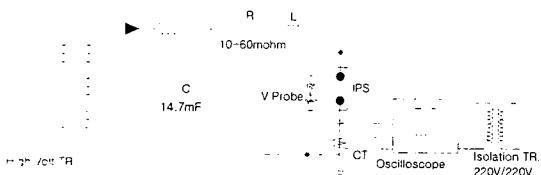


Fig. 8 IPS의 전류 통전 실험 회로

과 전류 파형에 영향을 미친다.

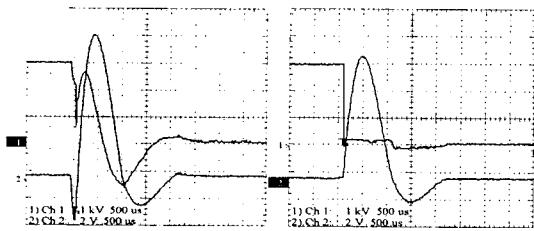


Fig. 9 전압 파형(ch1)과 전류 파형(ch2)

그러므로 Capacitor bank를 절연으로 절연을 하 고 IPS을 접지하여 실험한 결과 우측 파형과 같은 파형을 얻을 수가 있었다. 또한 측정기(DAS 시스템)의 전원은 필히 isolation transformer를 사용하여 측정기를 높은 전압의 썬어지로부터 보호함과 동시에 오실로스코프를 접지하지 않아야만 측정선과 접지선과의 루프형성을 제거하여 측정하여야만 정확한 파형의 측정을 할 수 있다.

2.2.3 IPS의 아크 저항 특성

다음 Fig. 8은 IPS의 아크 저항 특성을 계산한 결과이다. 전류 최고치에서 아크 저항은 약 15[mΩ]정도로 아주 적은 수치로서 개발하고자 하는 본 IPS의 자체 전력손실은 아주 적은 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

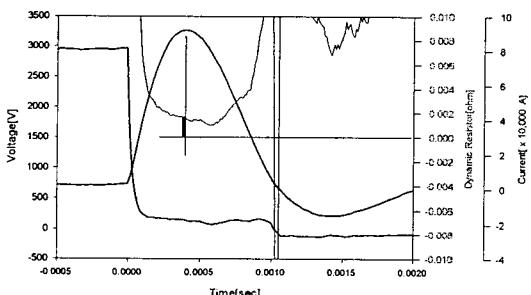


Fig. 8 IPS의 아크 저항 특성

3. 결 론

본 논문에서는 전기트리거형 IPS의 트리거 기법의 특성을 연구하였으며, 특히 1채널과 4채널의 트리거 장치에 대한 연구실험을 하여 4채널 동시 트리거에 대한 성능을 얻을 수 있었으며, 또한 Z-Pinch 와 Inverse-Pinch 현상은 실험을 하여 확인 할 수 있었다. 그리고 전류 100[kA]를 (필스폭 1[ms])흘려서 스위치의 전극 간의 아크 저항 특성을 구하였으며, 실험을 통한 각 특성들을 실제 IPS 제작 설계에 이용하면 전극의 수명이 길어질 수 있어리라 사료 된다.

본 논문은 국방부에서 시행한 민군겸용기술 개발사업의 지원에 의해 수행된 것입니다.

(참 고 문 헌)

- (1) 김영배, 조국희, "전기트리거용 IPS 개발에 관한 연구" 2001년도 대한전기학회 경남·부산·울산지부 학동 추계학술대회 pp219-221
- (2) 김영배, 조국희, 이형호, "Pulsed power 전원장치용 Gas Puffing IPS 개발", 전기학회논문지 제49권12호, pp.679-684, 2000.12 (3) Gerhard Schaefer, M. Kristjansen "Gas Discharge Closing Switches" Plenum press · New York and London 11. 26
- (4) Ja H. Lee, Sang H. Choi and Young S. Choi "Plasma-Puff Triggering of Plasma Switch" IEEE CAT pp 137 - 140, 1988.
- (5) Yongkee Kim, "Comparative Study of Closing Plasma in Inverse Pinch Switch and Spark Gap", Master Thesis, Hampton University, 1992.
- (6) Sang H. Choi "Simulation Study of a New Inverse-Pinch High Coulomb Transfer Switch" NASA Contractor Report 172420
- (7) Development of the Pulsed Power System with 500kA Pulse Current Generation". Proc. of 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, pp.169-172, 2000. 6. 19
- (8) 이형호, 김영배, 조국희, "A Study on the Closing Switch with Gas Puff Trigger", International Symposium on Pulsed Power and Plasma Applications, pp.136-141, 2000.10.26
- (9) Ja H. Lee and Sang H. Choi, "Design for Megavolt inverse pinch plasma switch", Proc. for the Seventh IEEE Int. Pulsed Power Conference, Monterey, CA 11-14, 1989 pp717-720