

Sealed off Inverse Pinch Switch 개발 연구

김 영배*, 조 국희, 이 홍식, 임 근희
한국전기연구원

A Study on Development of Sealed off Inverse Pinch Switch

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

Abstract - 고전압·대전류 펄스파워에 사용되는 스위치는 여러 종류가 사용되고 있는데, 커패시터에 저장된 초기의 전자 에너지를 시공적으로 압축하여 수ns - 수ms의 짧은 시간안에 고출력을 발생시키기 위해서는 펄스파워 장치에 사용되는 커패시터, 인덕터, 저항, 스위치등 회로 소자들의 임피던스가 작아야 할 필요성이 대두 된다. 따라서 Inverse Pinch Switch(IPS)는 이런 조건을 만족시킬수 있는 스위치로서 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 전기트리거형 IPS의 금속 전극부와 절연 ceramic를 brazing하여 sealed off type의 스위치의 제작 과정과 특성을 연구 하였다.

1. 서 론

고전압대전류 펄스파워기술은 커패시터,인덕터등에 저장된 초기 전자 에너지를 시공적으로 성형,중첩,압축하여 수ns~수ms의 짧은 시간안에 고출력을 발생시켜 좁은 공간에 에너지를 집중 공급하는 기술이다. 예를들면 1J의 에너지일지라도 그것을 1초간 방출하는 전력은 1W이나 10ns중간의 짧은 시간에 방출하면 10MW가 된다. 이와 같이 에너지를 극히 짧은 시간에 방출하면 power는 큰 값이 된다. power자체는 임피던스에 의하여 영향을 받기 때문에 동일 power의 경우,임피던스가 작은 부하에는 대전류가 흐르고, 임피던스가 큰 부하에는 고전압이 필요하면서 적은 전류가 흐른다. 이와 같이 펄스파워가 펄스 압축용이거나 또는 펄스의 rise time이 아주 빠른 용도에 사용될때는 스위치의 자체 임피던스가 적은 즉 인덕턴스나 아크저항치가 낮아야 할 필요성이 대두 된다. 즉 IPS는 그림 1과 같이 inverse pinch현상을 이용하기 때문에 스위치 자체의 인덕턴스가 적다. 따라서 IPS는 펄스파워의 rise time이 아주 빠른 파형에 적합하여 펄스폭이 긴 전류는 주전극 시작부에서부터 상부 전극까지의 아크 도달이 시간이 수십 us이내 이므로 펄스 지속시간이 수ms인 경우에는 상부 전극에 아크를 소호 할수 있는 장치가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 소호 시스템을 이용하여 절점의 손상을 줄이기 위해 실험을 통하여 확인한 결과 전극의 수명이 매우 향상 되었으며 sealed-off 형태로 제작된 스위치에 대해 기술 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 IPS의 동작 원리

Inverse pinch현상은 1958년 O.A.Anderson에 의해 처음 소개 되면서 많은 연구자들에 의해서 연구되어져 왔다. 전극 구조의 기본은 버섯 모양의 형태를 유지하면서 $F = J \times B$ 힘이 바깥쪽으로 밀어 내도록 작용하여 전류 밀도를 작게 하여 전극의 손상을 줄일수 있다.

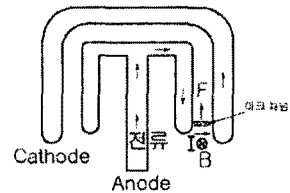


그림 1. IPS 원리

본 논문에서 소개하는 IPS의 원리는 그림 1과 같은 구조로 컵모양의 전극이 두개가 겹친 형태로서 anode전극과 cathode전극의 아래부분에서 트리거펄스 전압을 인가하여 점화를 시키면 전류가 통전되면서 플라스마 채널이 형성되고 플라스마는 Lorentz의 원리에 의해서 전극의 위쪽으로 밀려 올라간다. 또한 inverse pinch 현상을 이용한 구조이기 때문에 스위치 자체의 인덕턴스가 적으며 전체의 임피던스 또한 적기 때문에 rise time이 빠른 펄스의 투입스위치에 적합하다.

2.1.1 IPS의 구조

Inverse pinch 현상을 이용한 스위치의 구조는 형태가 다양하나 본 논문에서는 그림 2와 같은 구조의 챔버를 제작하여 실험 하였다. 스위치의 구조는 anode 전극부, cathode 전극부, 절연부, 트리거전극부로 크게 4부분으로 구분되며, cathode 전극에는 트리거 전극을 4곳에 설치하여 스위치의 초기 점화시에 360°균일한 방전이 일어나도록 하였다. 그리고 anode전극과 cathode전극과의 간격은 7mm를 유지하였으며 챔버 내부 진공도는 10^{-3} [torr]를 유지 하였다.

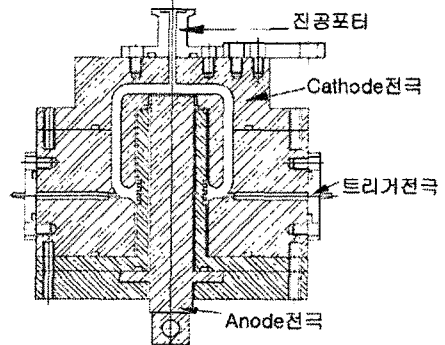


그림 2. IPS 챔버의 구조

2.1.2 아크확산형 IPS의 구조

전기 트리거형 IPS에 통전 전류 100kAp, 펄스폭 1ms의 전류를 흘렸을때 전극의 손상이 그림 3에서 보는 바와 같이 매우 심하게 나타난다. 이러한 전극의 손상을 방지하기 위한 소호 장치가 필요하다.

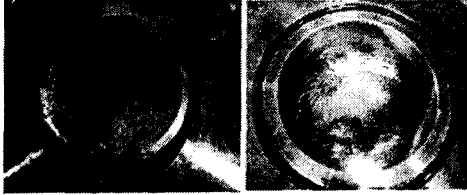


그림 3. anode전극과 cathode전극의 아크 흔적

이러한 전극손상을 억제하기 위해 전극 구조를 그림 4와 같이 형성 하였다. IPS의 anode전극의 상부 구조를 그림 5와 같이 나선형 형태의 120° 각도로 균일하게 나누어서 전류가 흐를때 강력한 종 자계가 발생할수 있는 전극 구조를 만들어서 전극의 접점에 흐르는 대전류를 접점표면에서 확산을 시키는 구조가 개발한 아크 확산형 IPS이다.

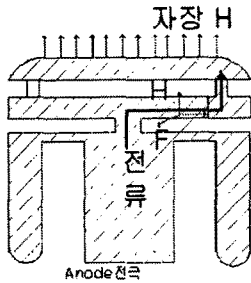


그림 4. 아크확산형 IPS의 원리

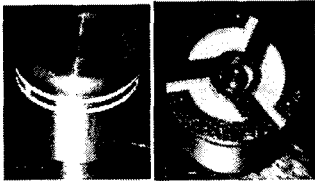


그림 5. 아크확산형 IPS의 anode전극

2.1.3 아크확산형 IPS의 sealed off 제작

고전압·대전류용 스위치는 고진공을 유지 하기 위해서는 금속 전극부와 절연 ceramic부분을 brazing하여 sealed off type으로 제작을 하여야 한다. 그림 6은 IPS의 sealed off 제작 도면이다. Anode와 cathode 전극간의 거리는 7mm를 유지 하였고, 전극의 재질은 Cu를 사용하였으며 아크를 확산 시키는 부분만

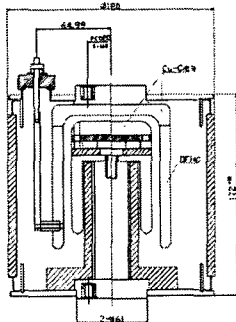


그림 6. IPS의 sealed off 제작 도면

Cu-Cr(75-25%)을 사용하였다. 또한 스위치의 내부 진공도는 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ [torr] 정도이며 진공스위치는 전

류를 통전 시킨후에는 아크에 의한 온도 상승으로 인한 진공도 저하를 막기 위하여 케터를 설치 해야 한다. 케터의 재질은 지르코늄알루미늄(ZrAl)합금을 사용하였고 케터의 부착위치는 그림 7과 같이 cathode전극 바깥쪽에 설치 하였다..

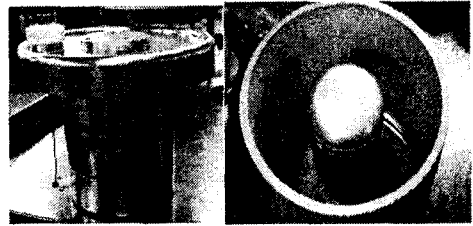


그림 7. Brazing직전의 cathode전극과 anode전극의 조립 사진

2.1.4 IPS의 트리거 전극 구조

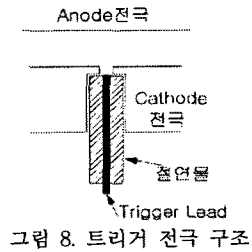


그림 8. 트리거 전극 구조

IPS의 트리거 전극 구조는 그림 8과 같다. Cathode 전극 내부에 절연물과 trigger lead가 삽입되어 있으며 trigger lead에 트리거 펄스 전압을 인가하면 trigger lead와 cathode 전극간에 절연 파괴가 일어나면서 anode 전극 쪽으로 플라즈마가 발생하여 주전극인 anode 전극과 cathode전극을 단락 시키는 closing switch역활을 한다. 트리거 전극의 재질은 Cu-W를 사용하였고 트리거 리드의 절연물로서는 세라믹튜브를 사용 하였으며 주전극에서 통전시에 트리거 전극으로 역류를 방지하기위한 구조로서 트리거 전극을 cathode 전극 표면에서 약간 안쪽으로 들어간 구조이며, 트리거 전극의 갭 거리는 0.5mm를 유지 하였다.

2.2 실험 및 결과

2.2.1 정격 내전압 실험

스위치의 내전압 시험은 절연 상태를 확인하고 동시에 스위치가 가지고 있는 hold off 전압을 결정 할수 있는 시험이다. 스위치의 hold off 전압은 정격 사용전압의 적어도 1.5배 이상은 되어야 한다.

2.2.2 트리거 전극의 동작 실험

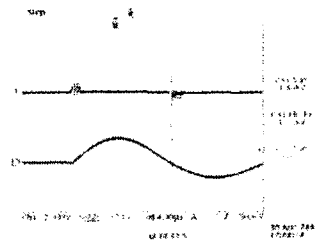


그림 9. 트리거시의 전압(ch1)과 전류(ch2) 파형

전기트리거 방식을 사용하는 통상적인 스위치들은 (spark gap switch, TVS, IPS, VRGS, PS등) 트

리거 전극이 동작을 할때 jitter가 발생한다. 이유는 트리거 펄스 장치에서 발생하는 펄스전압의 rise time과 트리거 장치의 용량에 의해서 동작 특성이 변할수 있다. 즉 트리거펄스의 rise time이 빨라야 전압 위상에서 전극의 turn on 시점이 빠르고 일정할 수가 있으며, 또한 주전극의 전로파괴를 충분히 일으킬수 있을 만큼의 전류가 흘러야 한다.

2.2.3 스위칭 지연 시간(Delay Time) 실험

IPS를 트리거 시키기위해서는 2.2.2 항에서 언급한 것처럼 트리거 전극에서 anode전극쪽으로 즉 anode전극과 cathode전극 사이를 전로 파괴를 시킬수 있는 충분한 양의 플라즈마를 발생시켜야 switch가 on되는 시간이 짧아지고 안정적인 스위치의 동작이 이루어질수 있다. 그림 10에서 ch1은 커패시터에 충전된 전압이 스위칭이 이루어질때의 전압 파형이고, ch2는 그때의 전류 파형, ch3는 트리거 전류 파형이다. 그림과 같이 트리거 전류가 흐르고 난후에 주 전극에서 통전이 되므로 이때 트리거 전류와 주 전류의 시간차를 스위치의 지연 시간이라고 한다.

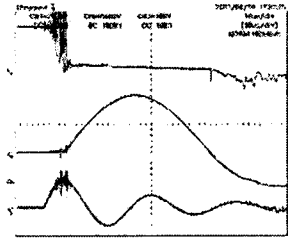


그림 10. IPS의 delay 실험 파형

2.2.4 최대 피크 전류 통전 실험

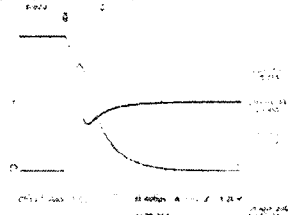


그림 11. IPS의 100kA통전 파형

최대 피크 전류 통전시험은 그림 12와 같은 회로로 장치를 구성하여 실험 하였다. 충전기의 정격은 22[kV] 100[mA] 로 국내 제작품이며 capacitor는 maxwell사 206[uF] 6대를 병렬 연결하였고 부하저항과 리액터는 각각 200[mΩ], 60[uH]를 사용하였으며 탭을 바꾸면서 저항값과 인덕턴스 값을 조절할수 있었다. 그리고 통전 실험 후 스위치의 이상유무를 판정하기 위해서는 직류 내전압을 인가하여 스위치의 내부에서 절연 파괴가 발생하지 않아야 스위치의 상태가 양호함을 판정할 수가 있다.

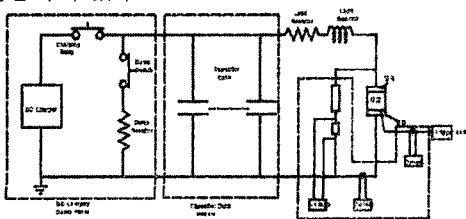


그림 12. 스위치의 통전 회로



그림 13. Brazing하여 제작한 sealed off type의 IPS

3. 결 론

본 논문에서는 IPS의 트리거 특성, delay특성, 대전류통전 특성 등을 실시하여 양호한 결론을 얻을수 있었다. Delay time이 30us이내의 특성이 나왔고, 대전류 100kA 통전실험을 실시 하여 고전압 대전류 펄스 스위치로서의 책무를 확인할수 있었다.

본 논문은 국방부에서 시행한 민간경용기술 개발사업의 지원에 의해 수행된 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1]김 영배, 조 국희, 이 홍식, 임 근희, "전기트리거용 Inverse Pinch switch개발에 관한 연구III", 2003년도 대한전기학회 고전압 및 방전용용기술 연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 39-41, 2003. 4. 25-26
- [2]김 영배, 조 국희, 이 홍식, 임 근희, "전기트리거용 Inverse Pinch switch의 특성에 관한 연구", 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집,pp.1766 1768, 2002. 7. 10-12
- [3]김 영배, 조 국희, "전기트리거용 INPIStron 개발에 관한 연구(2)", 대한전기학회 고전압 및 방전용용기술 연구회 춘계학술연구발표회 논문집, pp. 48-50, 2002. 4. 26 27
- [4]김영배,조국희,"전기트리거용 IPS 개발에 관한 연구" 2001년도 대한전기학회 경남.부산.울산지부 합동 추계학술대회 pp.219-221
- [5] Gerhard Schaefer, M. Kristiansen "Gas Discharge Closing Switches" Plenum press>New York and London 11. 26
- [6] Ja H. Lee, Sang H. Choi and Young S. Choi "Plasma-Puff Triggering of Plasma Switch" IEEE CAT pp 137 - 140, 1988.
- [7] Yongkee Kim, "Comparative Study of Closing Plasma in Inverse Pinch Switch and Spark Gap", Master Thesis, Hampton University, 1992.
- [8] Sang H. Choi "Simulation Study of a New Inverse-Pinch High Coulomb Transfer Switch" NASA Contractor Report 172420
- [9] 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
- [10] 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