

뇌서지 유입 시 새로운 스파크-갭을 활용한 전원회로 보호 대책

이강희, 박준우, 류동균*, 원재선*, 홍성수
국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기 (주) CDS 사업부*

A Solution to Protect the Power Supply Circuit Employing a New Spark-gap during Lightning Surge Inflow

Kang Hee Lee, Jun Woo Park, Dong Kyun Ryu*, Jae Sun Won*, Sung Soo Hong
Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

고전압, 대전류를 갖는 뇌서지는 전원회로에 유입되었을 때 소자 파손 및 회로 오동작 등의 문제를 일으킨다. 이에 대한 보호대책으로 SPD(Surge Protection Device)소자와 스파크 갭(Spark gap)을 주로 사용한다. 이 때, 기존의 스파크 갭은 뇌서지 유입 시 방전현상 이후에 발생된 스파크 갭의 패턴 마모로 패턴의 복구가 불가능하고, 불규칙하고 변칙적인 방전으로 인하여 발생하는 서지주요 예측경로의 소자 및 패턴 파괴와 같이 2차적인 문제를 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 초기 유입 시부터 스파크 갭의 방전을 통해 에너지를 우회시킴으로서 전원회로의 뇌서지 부담을 줄여 전원회로의 안전성 및 안정적인 정상동작을 확보하는 대책을 제안하고, 스파크 갭의 구조에 따른 효과를 실험을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 전 세계적으로 나타나는 이상 기후에 따라 낙뢰가 빈번하게 발생하기 때문에 뇌서지에 강한 제품이 요구되고 있다. 특히, 뇌서지의 전원회로 유입은 제품에 직접적인 피해뿐만 아니라 인명사고로도 이어질 수 있기 때문에 이에 대한 규제가 더욱 엄격해지는 추세이다. 따라서, 뇌서지 유입 시 더욱더 강력하고 효과적인 전원회로 보호대책이 요구된다.^[1]

기존의 보호대책으로 주로 사용되었던 바리스터 등과 같은 SPD의 삽입은 재료비 및 부피 상승의 문제를 초래한다. 따라서, 이러한 문제를 방지하기 위해 스파크 갭의 적절한 활용을 통하여 재료비 및 부피를 저감할 필요성이 있다.

한편, 기존의 스파크 갭의 활용 방식은 주로 노이즈 필터용 공통모드 초크코일과 병렬로 연결하여 사용하였다. 그러나, 이 방식은 주요 반도체 소자의 파손 원인이 되는, 공통모드 초크코일의 기생 캐패시터를 통하여 흐르는 고주파성 서지전류가 전원회로로 유입되는 것을 차단하는데 한계를 지니고 있다.^[2] 또한, 뇌서지 유입 시 주로 파손되는 소자인 1차 측 그라운드와 2차 측 그라운드 사이에 연결된 커플링 캐패시터와 노이즈 필터용 Y 캐패시터는 보호대책이 적용되지 않는 경우가 많아 과도한 뇌서지 유입 시 파손되는 문제가 존재한다.

따라서, 본 논문에서는 주요 파손소자인 1 2차 측 커플링 캐패시터와 Y 캐패시터는 물론 반도체소자를 보호하는데 우수한 성능을 갖는 새로운 스파크 갭의 추가 삽입 위치 및 구조를 제안한다.

2. 스파크-갭을 활용한 보호 대책

2.1 스파크-갭의 위치

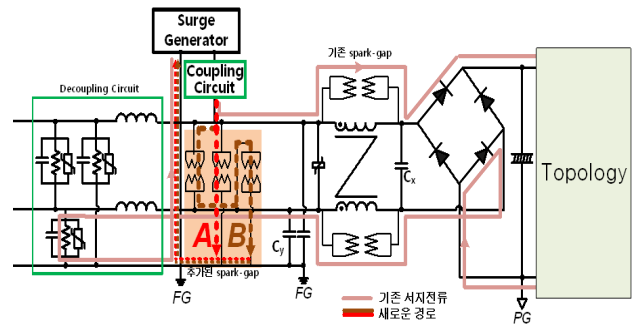


그림 1 기존 서지전류 경로와 제안방식의 서지전류 경로
Fig. 1 Surge current path of conventional and the proposed method (Line-to-Ground)

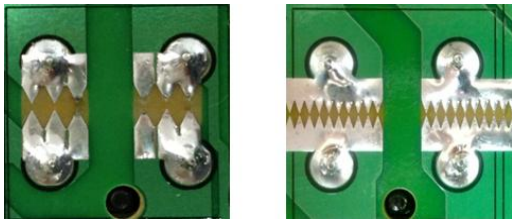
효과적인 스파크 갭의 방전으로 뇌서지의 에너지를 소모시키기 위해서는 스파크 갭의 적절한 위치 선정이 매우 중요하다. 기존의 스파크 갭의 위치는 서지 인가 시 순간적으로 높은 전압이 걸리는 공통모드 초크코일에 그림 1과 같이 병렬로 위치시켜 뇌서지 유입 시 방전을 통한 에너지 소모로 회로를 보호해 왔다. 그러나, 이 방법은 서론에서 언급했듯이 Y 캐패시터에 대한 보호대책이 되지 못하고 고주파성 전류를 저감시키는데 한계를 지니고 있다.

이러한 문제를 극복하기 위해 그림 1과 같이 전원회로의 입력전원 최 앞단에 스파크 갭의 추가 삽입을 제안한다. 제안 방식의 보호 원리는 Line에서 FG(Frame ground)로 인가되는 뇌서지가 새롭게 생성된 경로 A와 경로 B로 분배되어 흘러나가게 되어 서지전류가 전원회로 외부로 흘러가게 유도하는 것이다. 따라서, 새로운 경로를 통하여 전원회로 내부로 유입되는 서지전류를 저감시키는 효과를 갖게 된다. 또한, 서지 유입 시 스파크 갭 방전을 통한 에너지 소모로 고주파성 서지전류의 전원회로의 유입을 1차적으로 저감시키게 된다.

2.2 효과적인 방전을 위한 스파크-갭의 구조

스파크 갭 삽입 시 필히 고려해야할 사항은 방전으로 인한 패턴의 마모이다. 마모로 인한 패턴의 손상이 발생되면 연속적인 서지 유입 시 스파크 갭의 방전기능이 소멸됨에 따라 전원회로의 보호기능을 상실하기 때문이다. 이를 해결하기 위하여

너지 유입 시 방전으로 발생하는 마모에 강인한 스파크 갭이 요구된다. 그림 2는 기존의 스파크 갭과 제안 방식의 스파크 갭의 구조이다. 기존 스파크 갭의 형태는 톱니의 개수가 3개이고 간격이 넓지만, 제안 방식은 톱니의 수를 10개로 늘리고 간격을 좁혔다. 스파크 갭의 톱니수를 증가함으로써 너저지 유입 시 방전경로가 각 톱니 별로 증가되고, 스파크 갭의 방전은 간격의 거리에 반비례하기 때문에 스파크 갭의 방전 동작 전압이 낮아져 효과적이고 안정된 방전을 유도할 수 있다. 결과적으로 방전경로의 증가에 따라 스파크 갭의 톱니가 부담하는 에너지가 균일하게 분배되어 제안 방식의 스파크 갭이 보다 안정적이고, 효과적인 방전을 할 수 있도록 한다. 따라서, 방전 발생 시 각 톱니 별로 패턴의 마모를 균일하게 부담할 수 있으며, 패턴의 손상을 획기적으로 줄일 수 있다.



(a) 기존 스파크-갭 구조 (b) 제안 스파크-갭 구조
 그림 2 스파크-갭 구조의 예
 Fig. 2 Examples of Spark-gap structure

3. 실험 결과

제안 방식의 스파크 갭의 검증을 위해 제안 스파크 갭이 적용된 회로에 서지 인가 실험을 진행하였다. 실험 조건은 다음과 같다.

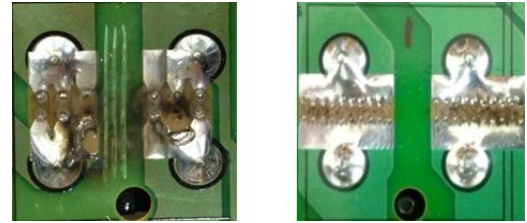
- 대상: 32인치 LCD TV 용 플라이백 전원회로(55W급)
 (기존/제안 각 10개)
- 서지 인가: 조합과 신호 발생기^[3]
- 조건: CR mode $\pm 7kV \sim \pm 8.5kV$, $+0.5kV$ 상승 인가
 C mode $\pm 6kV \sim \pm 7kV$, $+0.5kV$ 상승 인가

표 1은 입력전원 최 앞단에 스파크 갭을 추가 삽입하여 실험한 결과이다. 기존 방식은 스파크 갭의 방전이 불규칙하고, 변칙적이며 불꽃과 소음 발생이 심한 반면, 제안 방식의 경우 소자의 파손이 없고, 통과율이 100%로 나타나 매우 안정적이고 규칙적인 방전을 하고 있음을 확인하였다.

표 1 서지 인가 실험 결과
 Table 1 Test result in surge inflow

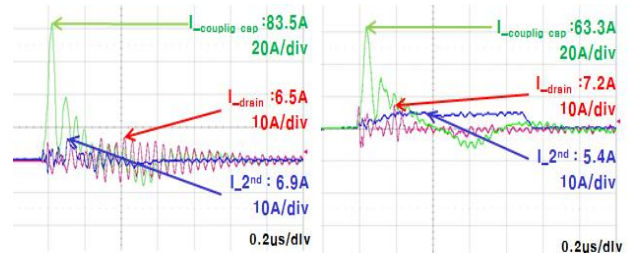
구분	시료수	통과율	파손소자
기존 방식	10개	30%	퓨즈, IC, MOSFET, 커패시터 및 Y 캐패시터 등
제안 방식	10개	100%	없음

그림 3은 기존 스파크 갭과 제안 방식이 적용된 스파크 갭에 서지 인가 실험을 마친 후의 사진이다. 기존 방식은 방전 시 소음과 불꽃의 정도가 매우 심하여 패턴의 복구가 불가능한 결과를 보였지만, 제안 방식의 경우 안정된 방전을 진행하며 마모도에 있어서 유리한 결과를 보였다. 이는 방전경로의 증가로 인하여 에너지가 분산되어 방전으로 인한 마모의 부담을 덜어주기 때문이다.



(a) 기존 스파크-갭의 마모도 (b) 제안 스파크-갭 마모도
 그림 3 서지 인가 실험 후 스파크-갭의 마모도
 Fig. 3 After surge inflow, abrasion of the test spark-gap

서지 인가 시 주요 전류 파형을 그림 4에 나타내었고, 제안 방식의 경우 안정적인 스파크 갭 방전으로 인한 에너지 소모로 인하여 고주파 및 저주파성 서지전류가 감소하는 것을 확인하였다. 특히 주요 파손소자였던 1 2차 측 커플링 캐패시터로 흐르는 전류($I_{coupling\ cap}$)가 크게 저감되는 것을 확인할 수 있다.



(a) 기존 방식의 전류파형 (b) 제안 방식의 전류파형
 그림 4 서지 인가 시 주요 전류 파형
 Fig. 4 The key waveforms of currents during surge inflow

4. 결론

본 논문에서는 전원회로에 서지 인가 시 발생하는 소자 파손 및 회로의 오동작을 방지하기 위한 보호 대책으로서 스파크 갭을 활용하는 방법을 제안하였다. 서지 유입 시 전원회로를 보호하기 위해서 스파크 갭을 통한 안정적인 방전이 이루어져야 한다는 것을 실험을 통해 확인하였고, 입력원에 위치한 스파크 갭의 적용은 비용 절감이 가능하며, 추가 소자 없이 적용할 수 있는 방식이기 때문에 회로의 부피상승도 발생하지 않는다. 최종적으로 시제품을 제작하여 실험을 통해 제안 스파크 갭의 유효성과 우수성을 검증하였다.

본 연구는 삼성전기(주)의 연구비 지원과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학T연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA 2013 H0301 13 2007)

참고 문헌

- [1] Infineon, "How to design SMPS to Pass Common Mode Lightning Surge Test", on Power Management & Supply, Application Note p.7, V1.0, 2005, September.
- [2] J.W.Park, K.H.Lee etc "Analysis of Surge Current Path of Flyback Converter by Lightning Surge" The Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 2, April 2013
- [3] Mi Zhou etc., "Coupling and decoupling network for surge immunity test on power lines", Proceedings of International Conference on Electrical Machines and Systems, pp.151-155, 2008