

Crowbar 스위치용 10/350 피킹(peaking) 회로 구현

(Realization of 10/350 Peaking Circuit for applying crowbar switch)

조성철 · 이태형 · 엄주홍 · 유양우

(Sung-Chul Cho · Tae-Hyung Lee · Ju-hong Eom · Yang-Woo Yoo)

Abstract

A first short stoke current which has a 10/350 μ s waveform is able to be generated by using the crowbar switch in R-L-C circuit. In this paper, a peaking circuit has been applied to make crowbar switch operate effective for generating 10/350 μ s waveform. According to simulation with PSpice, we have found that some value of inductance were more effective to trigger a crowbar switch. As a result of experimental test using crowbar switch with peaking circuit, the success rate of triggering crowbar switch is higher than the normal crowbar switch without peaking circuit.

1. 서론

SPD의 시험표준인 IEC 61643-1과 피뢰 시스템 표준인 IEC 62305에 최초 단시간 뇌격전류에 대한 표준이 제시되면서 10/350 μ s 뇌격전류에 의한 시험이 최근 들어 많이 요구되고 있다.[1][2] 유럽에서는 IEC 62305가 제정되기 이전에 10/350 μ s 전류파형 발생기에 대한 연구를 시작하였으며, 현재는 세계 제일의 기술력을 확보한 상태이다. 국내의 시험표준과 피뢰표준에 IEC 표준을 도입함으로써 10/350 μ s 전류발생장치에 대한 필요성이 제기되고 있지만, 현재 우리나라에서는 10/350 μ s 전류파형발생기를 전적으로 해외에서 수입하는 실정이다.

최초 단시간 뇌격전류인 10/350 μ s 전류파형을 발생시키기 위한 방법은 RLC회로정수에 의한 방법과 crowbar 스위치를 적용한 방법이 있다. RLC회로정수에 의한 전류발생장치는 높은 10/350 μ s 전류를 발생하기 위해서 많은 콘덴서가 필요하여 발생기를 제작하는데 공간상의 제약을 많이 받는다. 하지만 crowbar 스위치를 적용한 전류발생장치는 전류파형의 파마부분이 인덕터에 의해서 발생하기 때문에 적은 양의 콘덴서로 상대적으로 높은 전류값을 발생시킬 수 있다. Crowbar 스위치가 적용된 전류발생장치는 crowbar 스위치 구동이 가장 중요한 기술이며 peaking 회로가 사용되고 있다.

본 논문에서는 crowbar 스위치의 효과적인 구동에 필요한 peaking 회로를 PSpice의 시뮬레이션과 10/350 μ s 전류발생 실험을 통해 분석하고 성공적으로 crowbar 스위치를 구동하는 peaking 회로를 구한다.

2. 본론

2.1 Crowbar 스위치

일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 Crowbar 스위치는 3개의 전극으로 구성되어 있다.[3] 그림 1은 3전극으로 구성된 crowbar 스위치를 나타내고 있다. 임펄스 전압이 peaking 회로를 통해서 중앙 트리거 전극에 공급되면, 중앙전극은 crowbar 갭의 2번 전극보다 1번 전극에 더 가까이 위치해서 전극 1-3사이에서 스파크오버가 처음 발생한다. Peaking 회로가 높은 di/dt 를 발생함으로써 L_{int} 의 전압강하는 중앙전극과 접지전극 사이(2-3)의 crowbar 갭에서 두 번째 방전을 개시하게 된다.

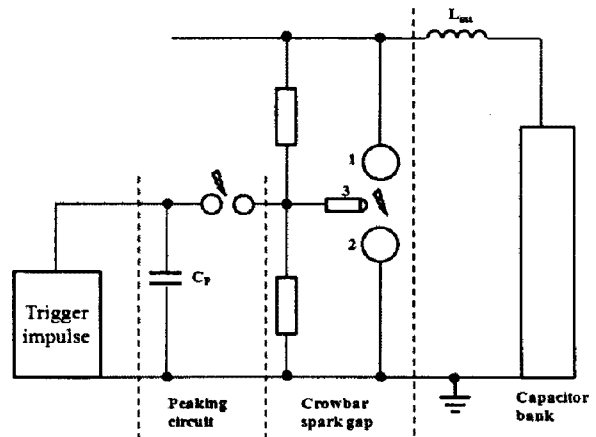


그림 1. 3전극 crowbar 스위치
Fig. 1. Three electrode crowbar switch

임펄스전압발생기에서 발생하는 1.2/50 μ s의 전류파형은 crowbar 스위치를 원하는 시간대에 트리거 시키는 데 한계가 있다. 정확한 트리거 동작을 위해서 전류상

승시간을 증가시키며, 전류 피크값을 높이는 peaking 회로가 사용된다.

2.2 Peaking 회로의 원리

Crowbar 스위치의 효과적인 동작을 위해서 사용되는 peaking 회로는 작은 용량의 콘덴서가 가장 중요한 요소이다. 일반적으로 peaking 콘덴서 C_P 는 임펄스전압발생기의 콘덴서 C_1 보다 매우 작은 값($C_P \ll C_1$)을 갖는다.[4] 그림 2는 임펄스전류발생기와 peaking 회로를 보여준다.

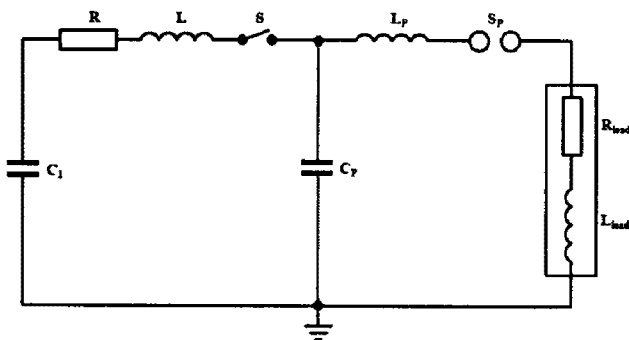


그림 2. Peaking 회로와 임펄스전류발생기
Fig. 2. Impulse current generator with peaking circuit

낮은 인덕턴스값을 갖는 peaking 커패시터 C_P 와 peaking 스파크갭 S_P 는 R-L-C회로에 연결되어있다. $t=0$ 일 때, 시작 스위치 S가 닫힌 이후 peaking 커패시터는 메인 커패시터 뱅크인 C_1 로부터 충전된다. Peaking 갭의 거리는 C_P 의 전압이 최대값에 도달할 때 갭이 동작되도록 설정된다. 시작스위치가 닫힌 이후의 오실레이션 때문에 C_P 는 C_1 의 충전전압보다 더 높은 전압까지 충전된다. C_P 짧은 시간의 임펄스전압에 노출되기 때문에 peaking 회로의 L_P 는 메인 서지 커패시터 C_1 에 비해 줄어들 수 있다.[5]

2.3 Peaking 회로의 시뮬레이션

실제 10/350 μ s 전류파형발생기의 회로정수를 적용하여 PSpice로 시뮬레이션한 결과를 그림 3에 나타내었다.

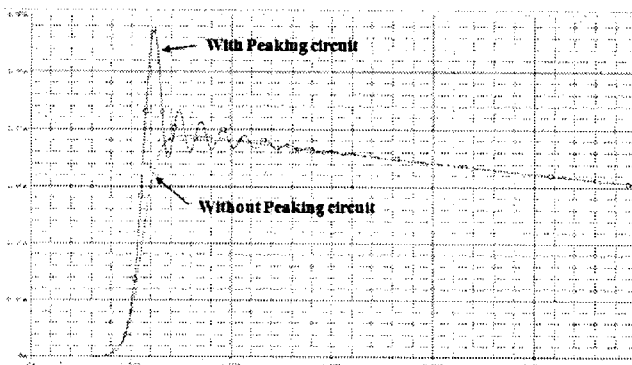


그림 3. Peaking 회로의 PSpice 시뮬레이션
Fig. 3. PSpice simulation of peaking circuit

메인 커패시터 C_1 은 1.5 μ F, C_P 는 0.003 μ F로 설정하였다. Peaking 회로에서 peaking 커패시터의 값에 따라 peaking 회로 특성이 달라진다. 시뮬레이션한 결과를 peaking 회로가 없을 때의 전류파형과 함께 그림 4에 나타내었다.

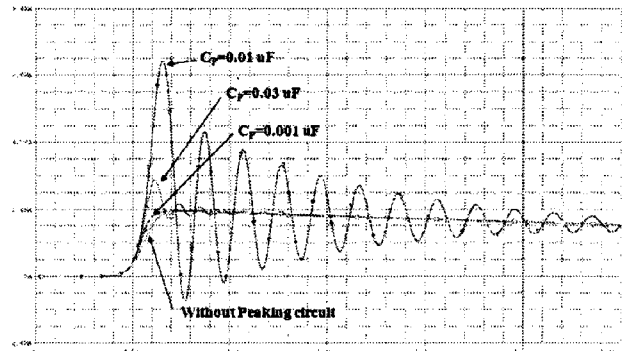


그림 4. Peaking 커패시터에 따른 전류파형
Fig. 4. Current waveforms according to peaking capacitor

C_P 가 0.01 μ F일 때의 전류 피크값이 peaking 회로가 없을 때의 전류 진폭보다 2배 이상 크지만, 파형 전체가 큰 폭으로 진동하기 때문에 효과적인 peaking라 할 수 없다. 하지만 C_P 가 0.001 μ F로 매우 작아지면 peaking 회로가 없는 경우와 비슷한 결과를 보인다. 따라서 효과적인 crowbar 스위치 구동을 위해서는 적절한 peaking 커패시터 값을 선정해야한다.

2.4 Peaking 회로 실험

Peaking 회로의 시뮬레이션 결과에 따라 최적의 peaking 회로를 만족하는 커패시터를 적용하여 crowbar 스위치를 구동하는 시험을 실시하였다. 그림 5는 peaking 회로가 적용된 crowbar 스위치를 나타낸다.

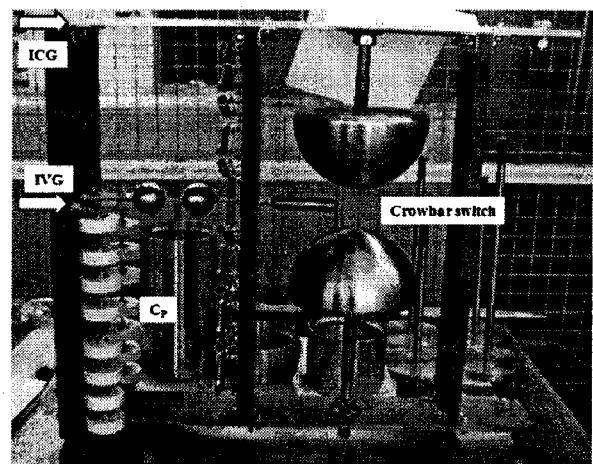


그림 5. Peaking 회로가 적용된 crowbar 스위치
Fig. 5. Crowbar switch applied with peaking circuit

Peaking 커패시터 C_P 를 적용한 crowbar 스위치 동작 실험 결과 peaking 효과가 거의 나타나지 않아 peaking

인덕턴스 L_p 에 대한 회로를 적용하고 이를 그림 6에 나타내었다.

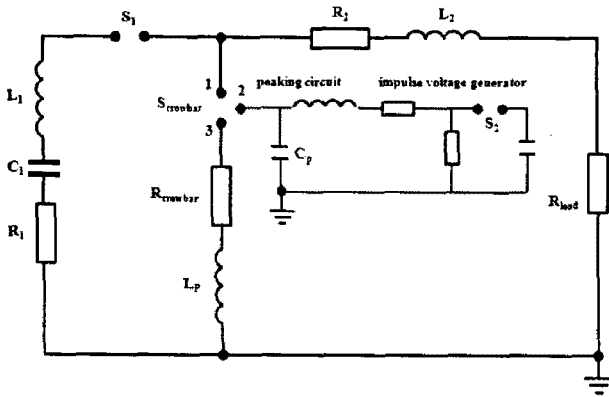


그림 6. Peaking 회로와 임펄스 전류 발생기
Fig. 6. Impulse current generator with peaking circuit

Crowbar 스위치가 동작하였을 때 peaking 인덕턴스 L_p 에 의해서 빠른 전류상승시간과 초기 진동으로 인한 높은 전류 피크값을 보인다. Peaking 인덕턴스 L_p 를 적용한 시뮬레이션 결과를 그림 7에 나타내었다.

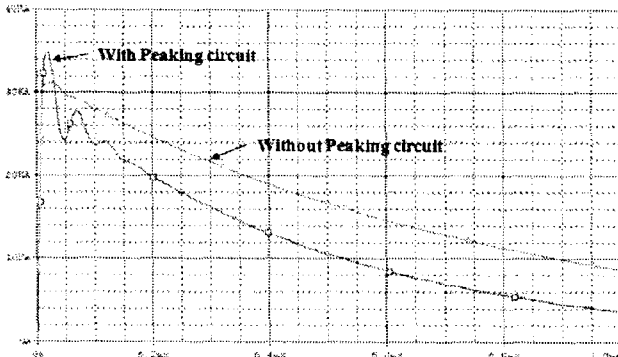


그림 7. Peaking 회로 시뮬레이션
Fig. 7. Simulation of peaking circuit

Peaking 인덕턴스 L_p 는 1 μ H가 적용되었으며 충전전압은 40 kV, C_1 은 20 μ F으로 실제 임펄스전류발생기의 회로정수를 사용하였다. Peaking 회로에 인덕턴스 L_p 가 적용되지 않았을 경우는 전류의 피크부분에서의 진동 없이 외부 인덕턴스 L 과 R 에 의한 시정수로 지수함수적으로 감소하는 파형을 나타내었다. 하지만 L_p 가 적용된 peaking 회로는 전류의 진동으로 인해서 더 높은 전류 피크값을 보이는 10/350 μ s 전류파형을 나타내었다. Peaking 회로가 적용된 경우의 전류피크값은 peaking 회로가 적용되지 않은 경우보다 약 15% 이상 증가하였다. 또한 peaking 회로가 적용되지 않은 경우의 회로정수는 파미부분의 350 μ s를 만족시키기 위해서 부하 저항을 10배 이상 증가시켜야 하는 단점이 있다.

L_p 가 적용된 peaking 회로의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 임펄스전류발생기와 임펄스전압발생기를 동시에 적용한 실제 10/350 μ s 전류파형 발생기를 이용하여 실

증 실험을 하였다. Peaking 회로가 적용되어 발생한 전류파형은 그림 8과 같다.

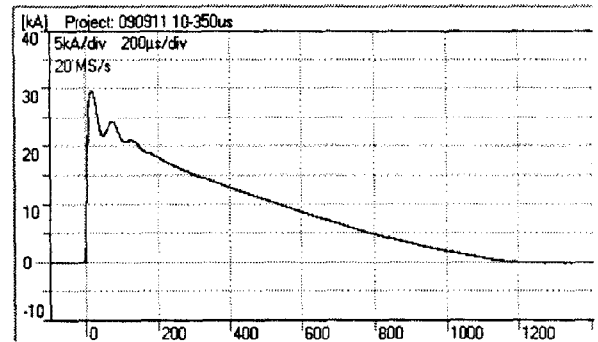


그림 8. Peaking 회로에 의한 전류파형
Fig. 8. Current waveform as a result of peaking circuit

그림 7에서 peaking 회로가 적용된 파형과 그림 8의 실제 측정된 파형이 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

3. 결론

최초 단시간 뇌격전류인 10/350 전류파형을 발생시키기 위해서 필요한 crowbar 스위치의 효과적인 동작을 위해서 peaking 회로를 구현하였다.

발생기의 회로정수값을 PSpice로 시뮬레이션한 결과, peaking 커패시턴스가 peaking 효과가 높았지만, 실제 실험 결과에서는 그 효과가 거의 나타나지 않았다.

Peaking 회로 효과를 높이기 위한 방법으로 peaking 인덕턴스를 적용하였으며, 시뮬레이션과 실제 실험으로 peaking 효과를 확인하였다.

Peaking 회로를 crowbar 스위치에 적용하여 시험한 결과, peaking 회로를 적용했을 경우가 peaking 회로를 적용하지 않은 경우보다 전류의 피크값이 15% 이상 높았다.

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- (1) IEC61643-1, Low-voltage surge protection devices, 2005.
- (2) IEC62305, Protection against lightning, 2006.
- (3) F.Heidler, W. Zischank, 'Lightning protection standards and testing', 29 th ICLP, 2008.
- (4) Michael Gamlin, 'Impulse current testing', Lightning Protection Forum, 2004.
- (5) Fisher, F.A. Plumer, J.A, Perala, R.A : Aircraft lightning protection handbook. Kightning Technologies, Inc., 2005.