

### 0.25/100 $\mu$ s 후속 단시간 뇌격전류 발생기 회로 기술

이태형, 조성철, 엄주홍  
기초전력연구원

#### Study on Generator Design for Subsequent Negative Stroke of 0.25/100 $\mu$ s

Tae-Hyung Lee, Sung-Chul Cho, Ju-Hong Eom  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

**Abstract** - In IEC 62305-1 standard, the simple circuit consisting of RLC is used in order to form the fast rise time of 0.25 / 100  $\mu$ s. But this circuit is very expensive system because the system is needed very high charging voltage up to 3.5 MV. In this paper, we suggest the generator which generates the current up to 10 kA by using the low charging voltage of the dozen kV. Therefore the generator was installed then we compared measure results with calculated results.

림 1에 나타내었다. 후속 단시간 뇌격에서의 주된 관심사는 파두시간에 있다. 그러므로 파미시간은 큰 의미를 두진 않으나 전형적인 값으로  $T_2 = 100 \mu$ s 로 정의한다.

#### 1. 서 론

지구 온난화에 따른 기후변화의 영향으로 국내에서도 낙뢰에 의한 피해가 급증하는 추세이다. 이러한 피해대책의 일환으로 피뢰시스템에 관한 IEC 62305 국제 표준의 부합화에 따라 KS 표준이 제정되었고 새로이 제정되고 있는 IEC 62561 피뢰시스템 구성부품에 관한 표준의 도입이 예상됨에 따라 표준에서 정하고 있는 0.25/100  $\mu$ s 후속 단시간 뇌격전류 시험설비에 관한 수요가 증가할 것으로 예상된다. IEC 62305-1 표준에서는 0.25/100  $\mu$ s의 빠른 상승시간을 형성하기 위해 RLC로 구성된 비교적 간단한 회로를 사용하지만 3.5 MV에 이르는 매우 높은 충전전압이 필요하다. 이러한 시험설비는 매우 고가이고 국외에서 수입해야 하는 실정므로 국내에서 기술의 국산화를 통한 기반 구축이 필요하다. 이 논문에서는 수십 kV의 비교적 낮은 충전전압을 가지고 최대 10 kA의 후속 단시간 뇌격전류를 발생시킬 수 있는 임펄스 발생기 회로를 모의한 후 실제 발생기를 구성하여 비교하였다.[1-2]

#### 2. 본 론

##### 2.1 후속 단시간 뇌격전류

낙뢰로 인한 물리적인 영향은 뇌격전류( $I$ )의 피크값과 비에너지( $W/R$ )에 영향을 받는다. 열적 영향은 저항성 결합일 때는 비에너지 그리고 설비에 아크가 발생할 때는 전하량( $Q$ )과 연관이 있다. 유도성 결합에 의한 과전압과 위험을 야기하는 불꽃방전은 뇌격전류 파두의 평균 상승률( $di/dt$ )과 관련이 있다. 일반적으로 단시간 뇌격전류는 다음의 식을 사용한다.

$$i = \frac{i_{max}}{k} \cdot (e^{t/\tau_1} - e^{t/\tau_2}) \quad \text{식(1)}$$

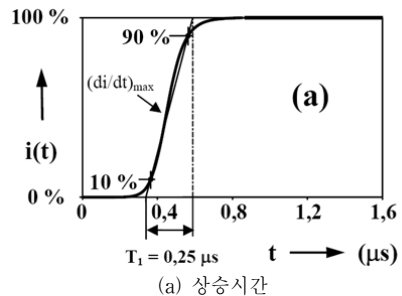
여기서  $i_{max}$ 는 전류의 최대값이고  $k$ 는 피크전류에 대한 교정계수이다.  $\tau_1$ 과  $\tau_2$ 는 파두시간과 파미시간을 결정하는 시정수이다. 하지만 이 식은 빠른 상승시간을 나타내기에는 어려우므로 IEC 62305 표준에서는 단시간 후속 뇌격파형을 다음과 같은 식으로 정의한다.

$$i = \frac{i_{max}}{k} \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1+(t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2) \quad \text{식(2)}$$

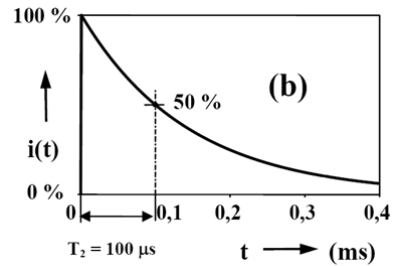
〈표 1〉 후속 단시간 뇌격전류 파라미터

|          | Subsequent stroke current |       |        |
|----------|---------------------------|-------|--------|
|          | LPL                       |       |        |
|          | I                         | II    | III-IV |
| $I$      | 50                        | 37.5  | 25     |
| $k$      | 0.993                     | 0.993 | 0.993  |
| $\tau_1$ | 0.454                     | 0.454 | 0.454  |
| $\tau_2$ | 143                       | 143   | 143    |

이 식에서 사용하는 파라미터는 표 1에서와 같이 LPL 레벨에 따라 다른 값을 적용하게 된다. 이러한 파라미터를 적용한 뇌격전류 파형을 그



(a) 상승시간



(b) 파미시간

〈그림 1〉 후속 단시간 뇌격전류의 파형 정의

뇌격전류가 흐르는 도선 가까이 설치된 페루프에 자기적으로 유도된 전압이 발생한다. 이 유도결합에 의해 발생하는 불꽃방전을 결정하는 전류의 평균상승률  $di/dt$ 의 최대값은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} \approx \sqrt{2} \frac{i_{max}}{T_1} \quad \text{식(3)}$$

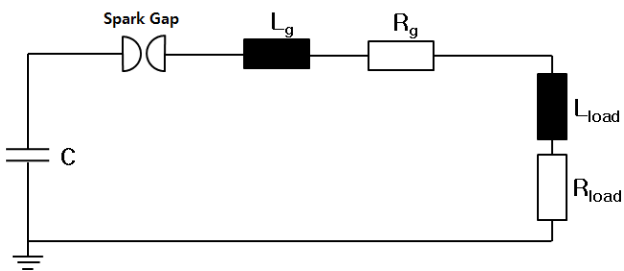
##### 2.2 회로 설계

전자기적으로 유도된 과전압은 전류 상승률에 크게 영향을 받는다. 가장 큰 전류 상승률은 부극성 후속뇌격에서 최대 100 kA/ $\mu$ s 또는 200 kA/ $\mu$ s인 것으로 보고되었다. 후속 뇌격전류를 모의하기 위한 RLC 회로에서 최대 전류 상승률은 충전전압과 전체 인덕턴스의 비와 같다.

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} = \frac{U_{ch}}{L} \quad \text{식(4)}$$

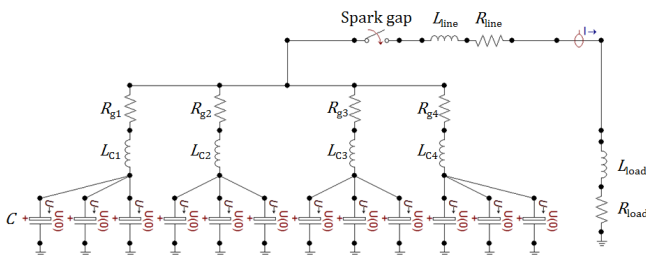
이와 같이 부극성 후속뇌격의 큰 전류 상승률을 시뮬레이션 하기 위한 발생기 설계는 시험하고자 하는 시료의 인덕턴스에 크게 영향을 받는다. 주어진 특정 인덕턴스에서 더 큰 전류 상승률을 얻기 위해서는 충전전압을 증가시켜야 하고 이는 보다 큰 절연거리를 필요로 하게 되어 발생기 회로의 내부인덕턴스를 증가시키게 된다. 그러므로 내부인덕턴스를 유지하면서 전류 상승률을 증가시킬 수 있는 다른 방안을 적용해야 한다.[3]

IEC 62305-1에서 단시간 뇌격전류 시험발생기에 대한 예시 회로도도 다음 그림 2와 같다.



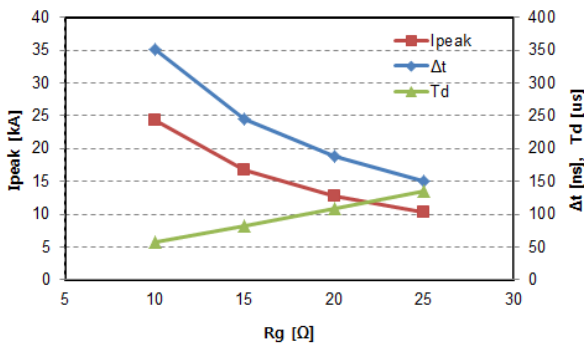
〈그림 2〉 단시간 뇌격전류 발생기 회로도 예

위의 그림에서와 같이 RLC로 구성된 간단한 회로를 사용하여 단시간 뇌격전류 발생기를 만들 수 있다. 하지만 표준에서 제시한 발생기는 충전전압을 수 MV까지 충전시켜야 하므로 비용적인 측면을 고려하면 제작하기가 어렵다. 그러므로 수십 kV의 충전전압을 가지고 최대 10 kA의 후속 단시간 뇌격전류를 발생시킬 수 있는 발생기 회로를 다음과 같이 설계하였다.



〈그림 3〉 후속 단시간 뇌격전류 발생기 회로도

그림 3의 제안한 회로에서 C는 충전용 커패시터의 용량, Lc는 커패시터의 내부 인덕턴스, Rg는 파형 형성용 저항 등을 나타낸다. 본 논문에서는 2.5 μF, 충전전압 100 kV의 고압 커패시터를 사용하는 것을 가정하였다. 이 때 파형 형성용 저항 Rg에 따른 전류피크(Ipeak), 파미시간(Td), 전류 상승시간(Δt)의 변화를 모의한 결과를 그림 4에 나타내었다.



〈그림 4〉 Rg의 크기에 따른 뇌격전류 파라미터의 변화

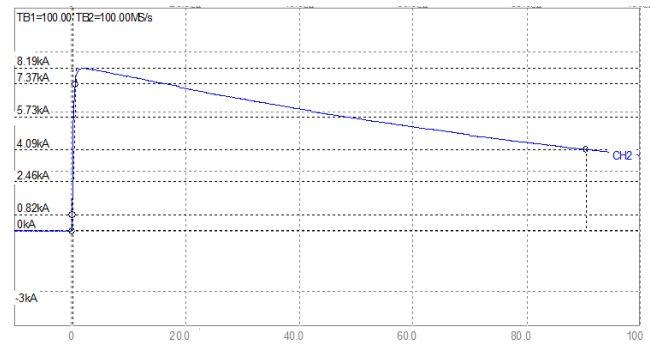
그림 4에서 나타난 바와 같이 파형형성 저항의 크기에 따라 모든 뇌격 파라미터가 변하게 된다. 위 결과에 따라 0.25/100 μs, 10 kA의 후속 단시간 뇌격전류를 발생시키기 위해서는 다음의 표 2의 파라미터를 적용하여 회로를 구성한다.

### 2.3 회로 적용 실험

〈표 2〉 후속 단시간 뇌격전류 파라미터

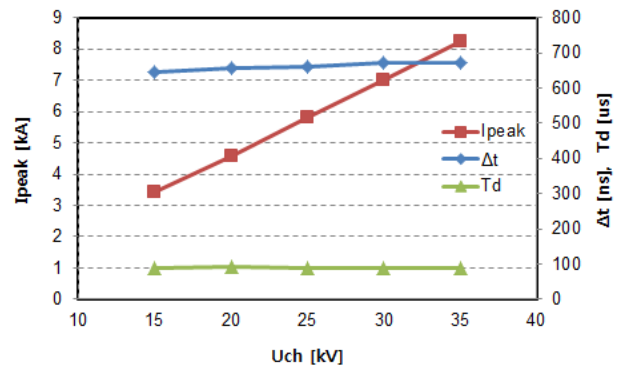
|              |        |
|--------------|--------|
| C            | 2.5 μF |
| Uch          | 30 kV  |
| Lc           | 1 μH   |
| Rg           | 20 Ω   |
| Lline, Lload | 0.1 μH |
| Rline, Rload | 0.1 Ω  |

앞에서 계산한 회로 파라미터를 가지고 실제 발생기 회로를 구성하여 실험 후 파형을 비교하였다. 우선 전류 상승시간에 크게 영향을 미치는 인덕턴스를 줄이기 위해 파형형성 저항은 무유도 타입으로 제작하였다. 회로소자를 연결하는 구간의 인덕턴스를 줄이기 위해 절연거리를 넘지 않는 한에서 최대한 컴팩트하게 회로를 구성하여 발생시킨 파형은 그림 5와 같다.



〈그림 5〉 후속 단시간 뇌격전류 파형

실제 구성된 뇌격전류 발생기 회로를 가지고 커패시터의 충전전압을 15 kV에서 35 kV까지 증가시키면서 측정된 전류피크와 전류상승시간, 전류 파미시간을 그림 6에 나타내었다. 측정 결과 전류 피크가 30 % 정도 감소하는 것으로 나타났고 전류 상승시간이 시뮬레이션 결과보다 비교적 크게 나타났다. 이는 커패시터 내부의 인덕턴스가 크게 작용한 것으로 보완해야 할 부분이다.



### 3. 결 론

IEC 62305-1 표준에 의한 후속 단시간 뇌격전류 발생기를 제작하기 위한 회로를 모의하고 실제 회로에 적용하여 실험하였다. 무유도 저항과 고전압 커패시터에 적용하여 실험한 결과 수십 kV의 비교적 낮은 충전전압을 가지고 빠른 상승시간을 갖는 후속 단시간 뇌격전류 파형을 모의하는 것이 가능하였지만 실제 회로에 적용하는데 있어서는 고전압 커패시터의 내부 인덕턴스에 의해 전류파형의 상승시간에서 비교적 큰 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 향후 내부 인덕턴스가 매우 작은 고전압 커패시터를 적용하여 보완할 계획이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 62305-1, "Protection against lightning - Part 1: General principles", International Electrotechnical Commission, 1st ed. 2006
- [2] KS C IEC 62305-1, "피뢰시스템 - 제1부 : 일반 원칙", 2007
- [3] Jeffery D Craven, James A Knauer, Truman W Moore Jr, "A Simulated Lightning Effects Test Facility for Testing Live and Inert Missiles and Components", <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA254966>