

Thyratron을 이용한 고압펄스 발생장치

김태진, 김성철, 김은수, 백주원, E.P.Pavlov, 이흥식, 전성준*
한국전기연구소, *부경대학교

High voltage pulse power supply using thyatron

Kim, T.J., Kim, S.C., Kim, E.S., Baek, J.W., E.P.Pavlov, Lee, H.S., Jeon S.J.*
KERI, *Pukyong National Univ.,

Abstract - In this paper, discharging part of high voltage pulse power supply of E-beam generating device is simulated and experimented. It is composed of high voltage part and high voltage pulse part. High voltage part is AC 380, DC/DC converter, high voltage high frequency transformer. High voltage pulse part is double pulse forming network and Thyatron. In the result, computer simulation analysis is same to experimental result and high voltage pulse is obtained 10kV, 4A, 10uS.

1. 서 론

펄스파워란 시간적, 공간적으로 압축하여 얻어진 고정도로 높은 피크치를 가지는 전력 혹은 에너지를 일컫는다. 보통 수 μ S~수십nS 범위의 짧은 고전압(수십kV~수MV), 대전류(수kA~수MA)펄스를 요구한다. 이러한 펄스파워를 얻기 위해서는 커패시터 혹은 인덕터에 에너지를 축적하고, 고속스위치를 통하여 신속하게 에너지를 방출함으로써, 펄스의 압축 및 형성이 이루어진다. 즉, 전기에너지로부터 입자빔, 전자파, 플라즈마등 새로운 형태의 에너지로 변환되어 이용이 가능하다.

본 논문에서는 오조나이저용 E-beam 고압펄스발생장치 중 방전부에 요구되는 25kV, 200A, 10uS, 200Hz의 전원장치개발에 앞서서, 시작품을 제작하고 5kV, 4A, 10uS, 수Hz의 펄스출력전압을 얻었다. 또, 기존의 Single Pulse Forming Network과는 달리, Double Pulse Forming Network을 이용함으로써 충전전압의 정배의 펄스출력전압을 얻었다.

PFN의 설계에 대한 특성은 P-Spice를 통하여 검토하였고, 정격 25kV, 1000A의 고속 스위칭소자인 Thyatron을 이용한 고압펄스 발생장치의 시작품을 제작했다.

2. Thyatron을 이용한 고압펄스 발생장치
2.1 고압펄스 발생장치

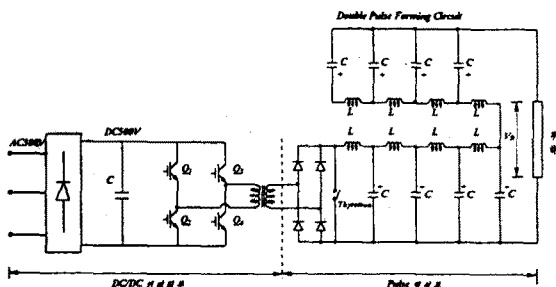


그림 1 고압펄스 발생장치 구성도

그림 1은 고압펄스 발생장치의 전체 구성도로써, 고압 발생부와 펄스 형성부로 구성되어 있다. 고압 발생부는 3상의 입력전원 380V를 정류하는 다이오드 정류부, Full-Bridge DC/DC 컨버터, 고압고주파변압기로 구성되어 있고, 펄스 형성부는 다이오드 정류부와 L1~L8 및 C1~C8의 Double Pulse Forming Network(Double PFN)과 Thyatron, 부하로 구성되어 있다.

2.2 Pulse Forming Network(PFN)

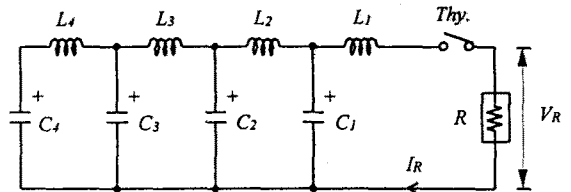


그림 2 Single PFN

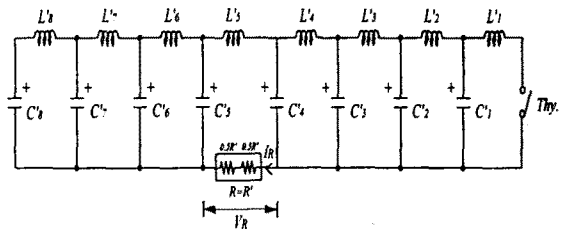


그림 3 Double PFN

PFN은 L, C의 직렬 공진회로를 다수의 병렬회로로 구성하고, 각 공진회로의 공진 시정수차에 의해 부하R에는 공진이 중첩된 구간동안에 일정 펄스폭을 가지는 펄스출력전압으로 형성된다. 이러한 커패시터와 인덕터로 이루어진 펄스형성회로의 종류로는 몇 개가 제안되어 있지만, 일반적으로 각각 동일한 L과 C를 갖도록 구성되어 있는 그림2와 같은 PFN회로가 대표적이다. 이 PFN에서 얻을 수 있는 출력전압의 파형의 기본적인 특성은 다음과 같다.

$$\text{펄스폭 } \tau = 2N\sqrt{LC} \quad \text{-----(1)}$$

$$\text{출력전압 } V_R = \frac{R}{Z + R} \quad \text{-----(2)}$$

$$(R = Z \text{인 경우}) V_R = \frac{V}{2} \quad \text{-----(2)'}$$

$$\text{출력전류 } I = \frac{V_0}{Z + R} \quad \text{-----(3)}$$

여기에서 N은 PFN의 단(段)수, Z는 PFN의 특성 임피던스($=\sqrt{\frac{L}{C}}$), V_0 는 충전전압, R은 부하임피던스, L은 1단의 인덕턴스, C는 1단의 커패시턴스이다.

부하 임피던스R이 PFN의 특성임피던스Z와 일치한 경우($R=Z$) PFN의 C와 L은 다음과 같다.

$$C = \frac{\tau}{2NZ} \quad \text{-----(4)}$$

$$L = \frac{\tau Z}{2\Lambda} \quad \text{-----(5)}$$

또, 제 1단의 인덕턴스를 L_1 이라고 한다면, C-L₁-R의 직렬회로로부터 출력 전압파형의 상승시간 τ_r 은 다음과 같이 결정된다.

$$\tau_r \approx \frac{\pi}{2\sqrt{\frac{1}{L_1 C} - \frac{R^2}{4L_1^2}}} \quad \text{-----(6)}$$

이 경우 출력전압은 충전전압 V_0 의 절반인 $V_0/2$ 에 불과하여 V_0 의 펄스출력전압을 얻기 위해서는 $2V_0$ 의 충전전압이 필요하고 이는 2배정격의 Thyatron이 요구된다.

이러한 단점을 극복하고자 본 논문에서는 캐패시터의 충전전압이 V_0 인 경우에도 출력전압이 V_0 를 갖도록 이상에서의 Single PFN을 병렬로 연결한 그림 3와 같은 Double PFN을 적용하였다. Double PFN의 특성임피던스Z'는 부하 임피던스R의 절반인 $0.5R$ 인 경우에 최대에너지가 전달되어 출력전압 V_0 의 구형파의 펄스가 형성되지만 펄스폭 τ' 는 C1~C4가 방전하는 시간동안에는 부하에는 영향을 미치지 못하여 τ 의 2배가 아닌 1.5τ 가 된다. 특성임피던스Z'와 펄스폭 τ' 는 다음과 같다.

$$Z' = 0.5 \text{ (임피던스 일치)} \quad \text{-----(7)}$$

$$\tau' \approx 2N\sqrt{LC} \times 1.5 = \tau \times 1.5. \quad \text{-----(8)}$$

2.3 Thyatron과 구동장치

그림 4는 고전압, 대전류의 고속 스위칭 소자인 Thyatron의 외관 및 구성도이다.

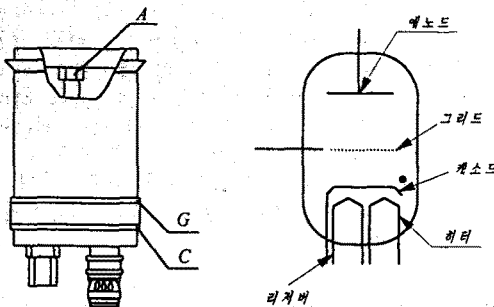


그림 4 Thyatron의 외관 및 내부구성

애노드, 그리드, 캐소드와 히터 및 리저버로 구성되어 있고, Thyatron의 내부에는 세라믹튜브에 수소 혹은 중수소가스를 봉입되어 있어 가스의 활성화를 위해 몇분간의 예열이 필요하다. 그리드에 충분히 높은 부의 전압

을 인가하면 애노드에 정의 전압을 인가하여도 Thyatron는 도통되지 않으며, 그리드에 정의 전압을 인가하면, 비로소 캐소드에 대해 정전위가 되어 봉입가스는 그리드전압으로 가속된 전자들에 의해 전리되어 도통된다. 일단, 도통되면 정의 그리드 전압을 제거해도 애노드전압이 충분히 저하될 때까지 도통상태를 유지한다. 히터는 열전자를 방출하는 캐소드를 가열하는 데 필요로하고 리저버는 Thyatron관내의 가스압을 조정하고, 수소 혹은 중수소의 양을 일정하게 제어한다.

본 실험에 이용된 Memalceramic의 TTNI-1000/25 Thyatron성능은 표1과 같다.

표 1 Thyatron 정격

애노드 최대정격전압	2500V
애노드 최대정격전류	1000A
애노드 최대전류펄스폭	50uS
dv/dt	2500V/uS
히터의 가열전압, 전류	6.3V, 1.35A
그리드의 가열전압, 전류	6.3V, 20A

그림 5는 Thyatron의 구동장치로 Forward 컨버터를 적용하였고 출력단은 고압 LC필터를 부착하여 드라이브를 보호하였다. 그림 6은 Forward 컨버터의 출력파형으로 Thyatron을 턴온시킨다.

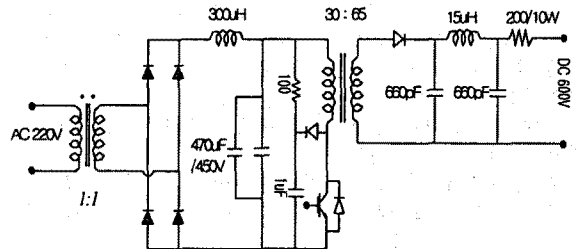


그림 5 Thyatron 구동장치

21-May-98
12:45:39

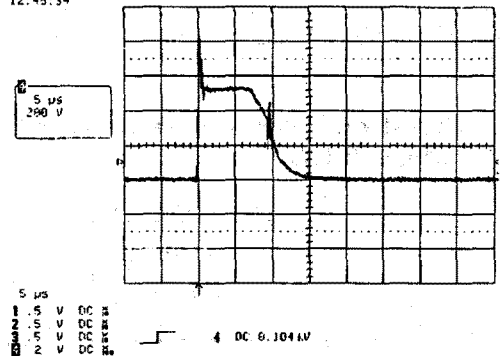


그림 6. Thyatron 구동장치의 출력전압파형

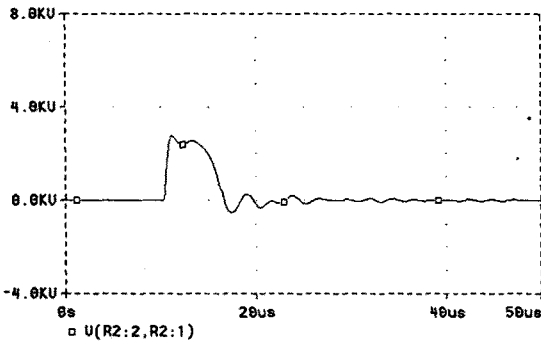
3. 실험결과

표 2는 본 실험에 이용된 장치에 대한 사양이다.

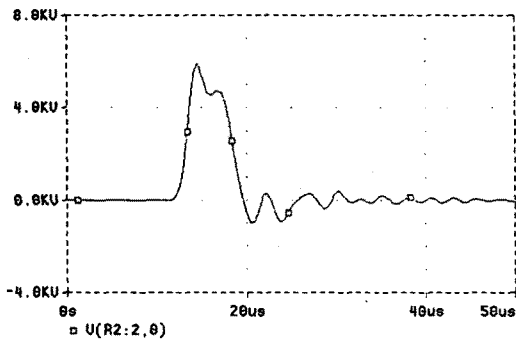
표 2 고압펄스 발생장치 사양

입력전원	DC 100V
출력전압, 전류	5kV, 4A
펄스폭	10uS
출력에너지	0.2J
순간최대출력	20kW
출력전압 반복주파수	1Hz
DC/DC 스위칭주파수	20kHz
고압 고주파 변압기 턴수	46:765

그림 7은, 그림 2와 그림 3의 Single PFN과 Double PFN에 대하여 P-Spice를 이용한 시뮬레이션 결과로 커패시터에 동일한 충전전압 V_0 를 가질 때 출력 전압이 $0.5V_0$ 와 V_0 의 구형펄스전압을 보여준다. 그림 2에서의 DC/DC 컨버터부는 장치제작시 Semicron의 Skiipack을 이용하였고, Phase-Shift 전용IC 3879로 DC/DC 컨버터의 출력을 제어하여, 커패시터의 초기충전에너지를 축적하였다. 또, Thyatron의 턴온 직전, DC/DC 컨버터부의 누설인덕턴스의 에너지를 리셋하기 위한 안정시간영역 수십uS를 확보했다.



(a)Single PFN



(b)Double PFN

그림 7 시뮬레이션 파형

그림 8은 5kV, 4A, 10uS의 전압파형으로 시뮬레이션 결과와 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 그림 9는 출력펄스전압과 고압 고주파 변압기의 1차측 전압파형이다.



그림 8 고압 펄스 전압 파형[1kV/div]

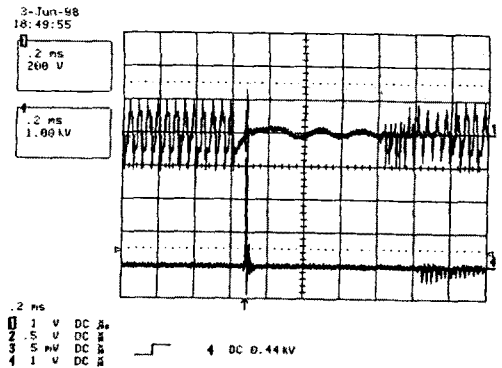


그림 9 변압기1차측전압[200V/div]
펄스전압파형[1kV/div]

4. 결 론

본 논문에서는 Thyatron과 Double PFN을 이용하여 5kV, 4A, 10uS의 고압펄스 발생장치를 설계하여 시작품을 제작하였고 Double PFN에서 충전전압 V_0 에 대해 정배 출력전압이 얻어짐을 확인하였다. 앞으로 본 논문에서의 실험을 기반으로 오조나이저용 E-beam 방전부 전원장치인 25kV, 200A, 10uS의 펄스파워발생장치에 대한 제작을 계획중이며 펄스형성시 보다 높은 dv/dt 를 갖도록 Double PFN에서 커패시터 및 인덕터의 설계에 대한 충분한 수학적 해석이 요구된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 田中 他, "Line type 펄스 전원의 Pulse Forming Network", INS-TH-48, 東京大學原子核研究所, 1965
- [2] E.G. Cook and T.T. Burkes, "Pulse Forming Network Investigation", Dept. of Electrical Engineering Report, Texas Tech University, Lubbock, Texas, August 1975
- [3] G.N. Glasoe and J.V. Lebacqz, "Pulse Generators", Dover Publications, Inc., New York, Chapter 6, 1965