

2000년도 대한전기학회 전문대학교육연구회 학계학술대회 논문집 2000. 7. 7-8

Gyrokylystron Tube 구동을 위한 고전압 펄스 전원장치의 설계 및 개발

°박재안*, 윤영대**
 (주) 포스콘 기술개발부문*, 포항1대학 전기과**

Development of High Voltage Pulse Power Supply for Gyrokylystron Tube

°Jae-An Park*, Young-Dae Youn**
 POSCON Ltd*, Pohang College**

Abstract - 최근 고 에너지 저장 및 발생장치의 개발은 군사용에서 산업용으로 응용되면서 각종 첨단 설비가 개발되고 있다.

본 논문에서는 전자빔발생기로 쓰이는 Gyrokylystron 용 대전력, 고전압, 전류 펄스 전원장치로 입력부, 특고압 발생부, 고압 정류부 및 IGBT 펄스 스위치로 구성하고 그 설계 및 개발 자료에 대하여 기술하였다.

대전력 고전압 전류펄스 전원장치를 위한 각 구성 부문의 제어 및 설계 특징은 다음과 같다.

입력부인 IGBT Inverter는 펄스 전원장치의 제어를 위하여 출력 고전압을 Feedback System에 의해 펄스 설정 전압을 유지하도록 제어하며, 또한 펄스 출력 중에 직류 고전압부의 전압강하, 즉 펄스 전압의 Drop이 커지는 것을 방지하기 위하여 Fast Dynamics를 갖도록 Feedback System을 구성하였다.

단상 특고압 승압용 변압기 3대를 직렬접속한 특고압 발생부는 PWM 제어된 전압을 입력받아 특고압으로 승압시키며 고압 펄스성 전압과 매우 높은 dV/dt 전압이 인가되므로 Stray Capacitance가 최소가 되어야 하며 절연파괴로부터 보호될 수 있어야 한다.

고압 정류부는 Inverter와 특고압 변압기에 의하여 전원이 공급되므로 교류전압의 교변 순간에 매우 높은 전압변동률을 가지는 Fast Recovery High Voltage Rectifier로 설계, 제작되어졌다.

펄스 스위치인 IGBT 스위치는 Gate Driver에 의해 구동되어 지며 주어진 펄스 사양을 만족시키게 된다. 특히 소자의 전압특성을 고려하여 120KV의 전압 값을 갖도록 설계, 제작하였다.

1. 서 론

펄스파워 기술의 응용분야는 환경기술 분야, 신소재 제조 분야, 플라스마 기술, 국방 및 항공우주 분야 등 앞으로의 첨단기술로의 발전이 기대되고 있다. [4].

이러한 전기에너지를 이용한 펄스 파워 시스템은 1차 전원, 전기에너지 저장장치, 스위치 및 부하로 구성되며 1차 전원은 보통 상용전원으로 공급된다.

여기에서 가장 중요한 부분은 펄스파워 스위치이며 Thyratron, 진공관, spark gap 등이 개발되어 쓰이지만 본 논문에서 기술된 대전력 펄스전원장치 (800KW, -80 KV, 10A, 펄스 폭 5μs~500ms)는 기초과학지원연구소 대형공동연구기기부에서 실시하고 있는 한빛장치의 플라즈마 연구부문에 사용되기 위하여 설계, 제작된 것이다.

특히 본 전원장치는 부하 운전을 안정시키기 위하여 펄스 전압 출력시의 전압강하를 최소로 하며 펄스의 Overshoot, 상승시간 및 펄스 Top Ripple을 최소로 하여야 하는 등 고안정도 및 고신뢰성이 요구되고 있다.

위와 같은 요구사항들을 만족하기 위한 입력부 및 전체적인 펄스제어를 위하여 Fast Dynamic 특성을 갖는 IGBT Inverter 방식을 채택하였다. 이 같은 특성의 3 대의 Inverter를 직렬 연결하면 각 Inverter간 120°

의 위상변이제어를 할 수 있어 3상 Chopper 방식이 구현되어 출력 측에서 고조파 특성 및 Ripple이 적은 직류전압을 얻을 수 있으므로 출력 펄스 특성이 매우 우수하다.

고전압 발생부, 에너지 저장부의 설계는 Compact화한 절연설계와 전압변동률을 매우 높여야 하는 방안으로 Fast Recovery Rectifier Diode를 채용하였다.

펄스 스위치부에는 기존 Tube 방식에서 가지고 있는 전압강하 등의 문제를 고려하여 [1], 반도체 소자 방식을 적용하였으며, 고전압 구동을 위한 절연설계 및 펄스 발생 시 Noise에 대한 문제를 고려하여 IGBT 소자를 적용 설계하였다.

본 논문에서는 대전력 고전압 펄스 전원장치의 각 부분에 대한 설계제작 및 시험 상의 문제점들을 해결하고 shop test 결과를 검토하여 이러한 방식의 전원장치 성능향상을 위하여 적절한 제안을 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 사 앙

본 연구에서 설계 제작을 목표로 하는 고전압 펄스 전원장치의 상세한 사양은 다음과 같다.

1) Output Parameter

Output Voltage	:	-80KV
Pulse Output Voltage	:	-10KV~80KV
Continuously Variable		
Output Current	:	8.2A
Maximum Output Current : 10A		

2) Pulse Parameter

P.R.R : Single Pulse(@500ms)	to 1000Pulse	
(@Pulse Width less than 100μs)		
Pulse Width	:	10μs ~ 500ms
Rising Time	:	Less than 2μs
Falling Time	:	Less than 10μs
Ripple Voltage	:	Less than 1%
Overshoot	:	Less than 2%(Time 2ms)

2.2 고전압 펄스 전원장치 설계

EBG Gyrokylystron Tube용 고전압 펄스 전원장치는 사용자가 요구하는 안전성에 대한 문제와 높은 신뢰성을 만족시킬 수 있도록 가능한 한 산업적으로 검증된 이론과 고전압 전원장치가 요구하는 Compact화된 제작 기술과 안전을 고려하여 설계되었다.

그림 1에 고전압 펄스 전원장치의 구성도를 제시하였

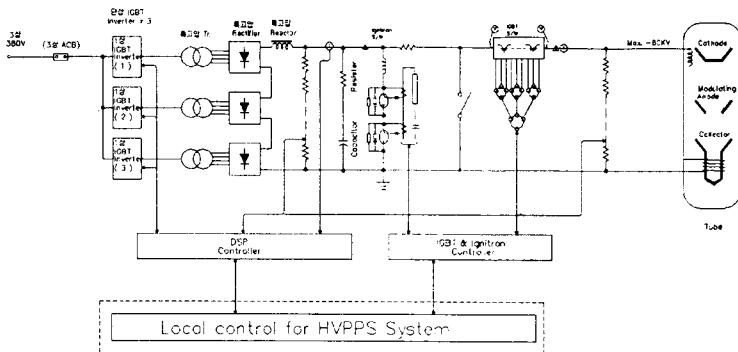


그림 1. 고전압 펄스 전원장치의 구성도

다. 전체 구성도에서는 입력부, 고전압 발생부, 에너지 저장부, 펄스 스위치부 및 전기적 Crowbar 스위치인 Ignitron Tube, 운전의 안전을 요구하는 기계적 Crowbar인 Mechanical 스위치부로 구성되어 있다.

Shop Test시 사용전원은 3상 380V, 100KW의 전원을 사용하였다. 이 전원은 펄스 출력시 사용전원 용량 부족으로 인한 선로의 이상 발생을 고려하여 독립된 전원을 사용하였으며, 이 전원은 입력전원 차단기(ACB : Air Circuit Breaker)를 거쳐 Inverter에 전원이 공급된다. 또한, 시스템의 안정화를 위하여 주 전원과 분리된 별도의 제어전원을 사용하였다.

다음은 고전압 펄스 전원장치의 주요 구성 부분에 대한 설계 및 제작안을 제시하고 있다.

2.2.1 입력전원부

지금까지 고전압 전원장치의 입력부는 변압기의 다관선 방법을 주로 채택하여 진공관 방식의 펄스 스위치를 주로 채택하였다.[3]

그러므로 유지, 보수 및 제작 상 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 IGBT Inverter 3조를 직렬 연결하여 유지, 보수의 편의성을 도모하고, 외란에 의한 고조파를 제거하기 위하여 입력 전원부에 AC Filter를 적용하였다.

고조파 발생을 억제하기 위하여 Diode 정류기 및 Capacitor Filter로 구성된 Inverter 방식의 시스템으로 고조파 발생으로 인한 영향을 줄일 수 있었다.

한편, 3대의 Inverter는 각각의 Inverter 출력전압에 대하여 120° 위상변이를 가지고 운전하게 하여, 직류 측에서 본다면 등가적으로 3상 Chopper로서의 특성을 얻으므로 출력측 고조파 특성이 우수하고 동적특성이 우수하여, 결과적으로 출력 펄스특성이 우수하게 된다.

IGBT Inverter는 출력 고전압을 Feedback System 제어에 의해 펄스 설정 전압을 갖도록 PWM 제어하고 특히, 펄스 출력 중에 펄스 전류로 인한 직류 고전압부의 전압강하, 즉, 펄스 전압의 Drop이 커지는 것을 방지하기 위하여 펄스 출력의 전압까지 조정시킬 수 있도록 속응 제어 시스템 (Fast Dynamics Feedback System)을 구성하였다.

2.2.2 고전압 발생부

고전압 발생부는 3대의 특고압 승압변압기 3조, 고속

스위칭 정류기 3조, 특고압 리액터로 구성 되어 있으며, 특히 고압 펄스 전압 출력을 위하여 매우 높은 dV/dt 전압이 인가되므로 변압기의 설계, 제작은 Stary Capacitance가 최소가 되어야 하며, 절연내압이 120KV 이상이 되도록 설계 제작하여야 하므로 고전압 발생부는 유입식을 적용하였다.

특히 특고압 정류 Module의 입력 교류전압은 IGBT Inverter와 특고압 변압기에 의하여 전원이 공급되므로 교류전압의 교변 순간에 매우 높은 전압 변동률을 가진다. 따라서 고압 정류부의 Diode는 Fast Recovery High Voltage Rectifier로 설계되었다.

Fast Recovery Diode String으로 구성된 특고압 정류 Module은 각 Diode간 분압이 균형있게 이루어지도록 설계, 제작하여 Reverse Voltage Breakdown으로 인한 Diode String의 연쇄 파손을 방지하도록 하였으며, 각 특고전압 정류 Module은 직렬 결선하여 80KV 직류 특고전압을 얻을 수 있도록 설계하였다.

식 (1)은 Diode Snubber의 저항용량 계산식이다.

$$W = 1/2[C \times V^2 \times f \times 2] \quad (1)$$

2.2.3 에너지 저장부

Capacitor Bank는 Oil Capacitor를 직렬 결합하여 구성하였다. 특히 Capacitor를 직렬 구성할 때 Capacitor 개개의 정격 동작전압(Working Voltage)을 초과하지 않도록 균등전압 분배기가 적용되었으며, 개개의 Capacitor의 동작전압과 절연전압의 안전도를 고려한 절연 구조물을 설계, 제작하였다.

일반적으로 고전압 제품이 그러하듯 기중방식의 경우 제작상 전기회로 특정 부위의 Corona 및 Arc가 발생하지 않도록 제작하여야 하는데 본 장치에서는 절연 구조물 하단은 도전성 Plate로 제작하여 접지하며, 특고압 정류부 양단에는 Voltage Sensor를 두어 전압제어를 위한 Feedback Signal로 이용할 수 있도록 설계 반영하였다.

이때 Voltage Sensor의 Band 폭이 좁으면 펄스 출력시 전압 오차가 커지고 Overshoot가 크게 발생 할 수 있으므로 High Frequency Band Side에서 광역폭 (Wide Band Width)을 갖도록 설계하였다.

또한 Voltage Sensing Signal은 1.0V/10KV의 신호 크기로 Low Voltage Bushing Side를 통하여 검출 함으로써 전압 검출 시 절연에 대한 문제를 해결하였다.

2.2.4 펄스 스위치 부

고전압 펄스 전원장치에서 펄스 출력을 위한 스위치는 지금까지 진공관 Tube를 많이 사용하여왔다. 그러나 진공관 Tube를 사용할 때에는 펄스 On시 전압 강하로 인한 열손실 및 이것을 냉각하기 위한 냉각 장치가 필요하며 또한 사용회수가 제한되는 문제점이 있기 때문에 고속스위칭이 가능하고 전압강하를 줄일 수 있는 반도체 소자 IGBT를 적용하였다. 그러나 반도체 소자 적용 시 고려할 사항으로는 회로 내압에 적합한 전압을 얻기 위하여 많은 수의 소자를 직렬 연결하여 회로 내압을 보장할 수 있어야 한다.

따라서 본 논문에서는 IGBT 1 Unit 당 7개로 제작된 20 Units를 직렬 연결하여 구성하였으며, 사전 1은 완성된 IGBT Switch Unit를 나타내고 있다.

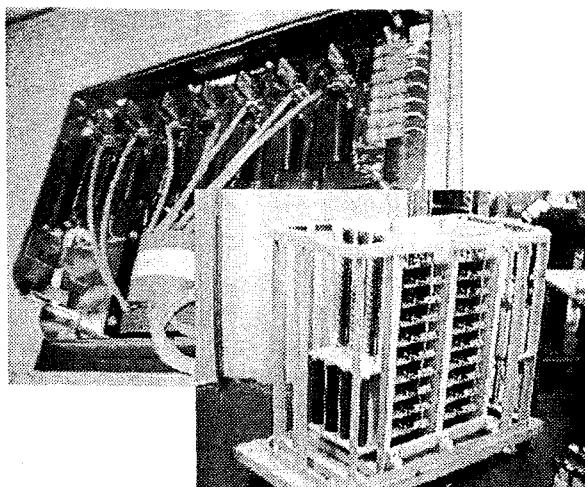


사진 1 . IGBT Switch Unit

펄스가 Off되어 있는 동안에 IGBT 스위치는 Bias 전압에 의해 Cut Off 상태에 있게 되고, 펄스가 On 되었을 때 부하량에 따른 부하 전류에 의해 Capacitor의 에너지가 초기 방전되며, 설정된 펄스 값을 출력하게 된다.

식(2)는 에너지 저장부에 충전된 에너지를 이용하여 초기 펄스 On 시 방전 시간을 나타내는 식이다.

$$T = \Sigma C / [Vd \times Id](s) \quad (2)$$

비정상적으로 IGBT 스위치가 Off되지 않아 펄스 폭이 설정치 보다 증가되거나, 직류고전압 진원이 과충전되면 설비 Shut Down 및 Crowbar 스위치가 동작되어 출력을 차단시키게 된다.

3. Shop Test 결과



실제 장치에 접속시키기 전에 실시한 Shop Test시 사용한 부하는 1KW, 200Ω의 저항 부하 80개를 용도에 따라 직.병렬 연결하여 사용하였다.

그림2는 80KV, 5ms 펄스를 가했을 때의 전압파형을 나타내고 그림3은 펄스 폭 100μs, 25KV의 인가진압을 가했을 때의 Foil Test 결과 파형이며, 그림4는 실제 Foil의 모습이다.

그림4. Foil Test의 결과

4. 결 론

에너지 저장장치는 단시간 내에 많은 에너지를 방출하기 위해 에너지 저장부의 대형화, 펄스 스위치 부분의 진공관 방식을 적용함으로서 수명의 제한과 에너지 손실이 많다는 단점을 가지고 있었다.

본 논문에서는 이온 빔 가속을 위한 진원장치로 고주파 인버터 방식을 채용하여 출력전압에 대한 속응성을 확보하여 Compact화시키고 펄스 스위치는 IGBT를 채용하여 반영구적인 수명과 저압축 제어에 의한 시스템 안정성과 신뢰성을 확보 할 수 있었다.

고전압 펄스 전원장치에서는 부하 또는 진원장치의 이상이 있을 때 발생된 에너지를 최단시간 내에 소모시키고 Tube를 보호하기 위하여 빠른 차단시간이 필요하여, Crowbar 스위치인 Ignitron Tube를 채용하고, IGBT

7개를 묶은 unit를 20개 접속하여 안정된 펄스 출력을 얻었다. 이에 EBG Gyroklystron Tube용 고전압 펄스 전원 장치의 설계 및 실험 결과를 제시하였다.

현재 실제 Gyroklystron Tube의 시운전을 준비중에 있어 그 시험결과 등을 추후 발표하도록 할 예정이다.

이러한 고출력 펄스파워 기술은 오존발생기, 탈황, 탈질, 전기집전기 등의 환경보호기술과 플라즈마 핵융합, 전기폭파 및 암반파괴 등의 플라즈마 기술, 펄스 이온빔, REB, LASER 등을 이용한 신소재 기술에도 응용이 되어질 것으로 보여 많은 연구가 있어야 할 것으로 본다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.Tsuneoka, "Development of d.c power supply for gyrotron with energy recovery system", Fusion Engineering and Design, 36, 461-469, 1997
- [2] W.Schmineke and N.Tomljenovic, "Regulated high voltage power supply for gyrotrons based pulse modulatio techology"
- [3] 박재안, 이용운, 박성태, 이경수, "Development of High Voltage Pulse Power Supply for Electron Beam Gun", 전력전자연구회, III-A-26~30, 2000
- [4] 임근희, 조주현, "펄스파워 기술", 전기학회지, Vol.49 No.1, 2000

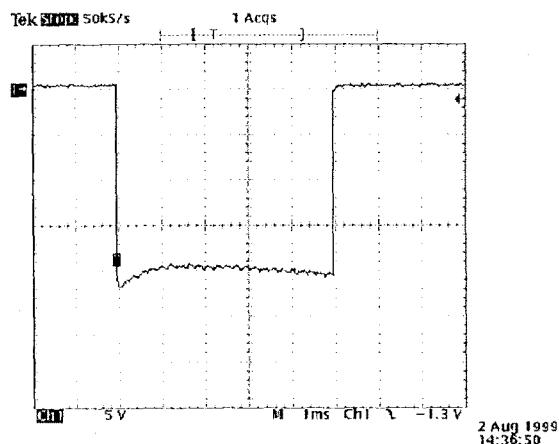


그림 2. Pulse Output Voltage(80KV, 5ms)

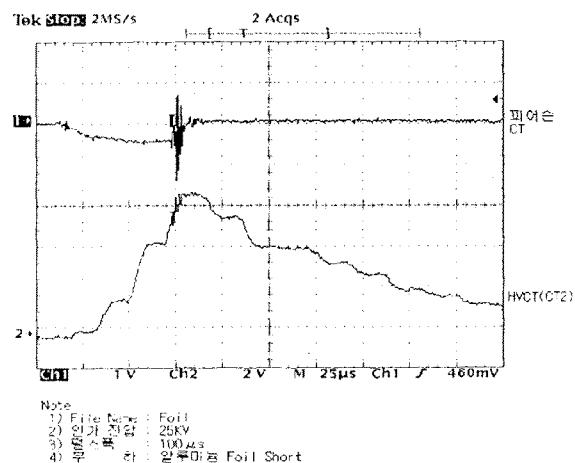


그림 3. Foil Test 파형