

**인버터 전원장치를 사용한 펨토세컨드 원적외선 가속장치의 펄스 모듈레이터**

김상희, 박성수, 김성철, 황정연, 한영진  
포항공대 가속기연구소

**A Pulse Modulator for Femtosecond Far-infrared (FS-FIR) using Inverter HV Power Supply**

S. H. Kim, S. S. Park, S. C. Kim, J. Y. Huang  
Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH

**Abstract** - 펨토세컨드 원적외선 가속장치(Femtosecond Far-infrared Accelerator)에는 S 밴드의 클라이스트론이 사용되고 있으며, 이를 구동시키기 위하여 신뢰성이 높고 컴팩트하며 효율성이 좋은 펄스 모듈레이터가 필요하다. 전통적인 방식의 라인타입 공진충전 펄스 모듈레이터는 직류전원을 만들기 위하여 많은 고전압 소자들을 사용한다. 이러한 소자들로는 SCRs, 3상 트랜스포머, 정류 다이오드, 필터 choke, 필터 커패시터, 충전 인덕터, 충전 다이오드, deQing 회로, de-spiking choke 등으로 구성된다. 펨토세컨드 원적외선 가속장치의 펄스 모듈레이터에는 이러한 소자들을 사용하는 대신에 고전압 인버터전원장치를 사용함으로써 신뢰성이 높고 컴팩트하며 효율성이 좋은 펄스 모듈레이터를 제작하였다. 전통적인 방식의 라인타입 공진충전 펄스 모듈레이터는 deQing 회로를 사용해야만 하지만, 펨토세컨드 원적외선 가속장치의 펄스 모듈레이터의 빔전압의 변동폭은 deQing 회로를 사용하지 않고도 0.5 % 범위 안에서 동작하기 때문에 출력이 매우 안정적이다. 고전압 인버터전원장치의 사양은 10 KJ, 50KV, 200mA의 전원장치 4개를 병렬로 사용하여 30 Hz로 운전하고 있다. 본 논문에서는 펨토세컨드 원적외선 가속장치의 펄스 모듈레이터의 디자인개념과 출력전압의 변동폭에 관하여 논의하고자한다.

**1. 서 론**

펨토세컨드 원적외선 가속장치(Femtosecond Far-infrared Accelerator)는 S-band 80 (MW)급 클라이스트론과 200 (MW)급 펄스 모듈레이터로 구성되었다. 펨토세컨드 원적외선 가속장치에 적용된 모듈레이터 방식은 기존에 널리 사용되어진 LC 공진 충전방식의 전통적인 방식을 사용하지 않고 고전압 인버터전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터를 사용하였다. 고전압 인버터전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터는 전통적인 방식의 라인타입 공진충전 펄스 모듈레이터 보다 더 유지·보수 하기가 용이하고 크기가 더 작고, 더 높은 안정도 및 효율성을 가지고 있다.[1] 현재 운전중에 있는 펄스 모듈레이터는 10 KJ, 50KV, 200mA의 전원장치 4개를 병렬로 사용하여 5 Hz로 운전하고 있다. 본 논문에서는 펨토세컨드 원적외선 가속장치의 펄스 모듈레이터의 디자인개념과 출력전압의 변동폭에 관하여 기술하고자한다.

**2. 본 론**

**2.1 200 (MW) 펄스 모듈레이터 사양**

표 1은 펨토세컨드 원적외선 가속장치(Femtosecond Far-infrared Accelerator)에 사용된 고전압 인버터전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터의 사양을 나타내었다.

**<표 1> 모듈레이터의 사양**

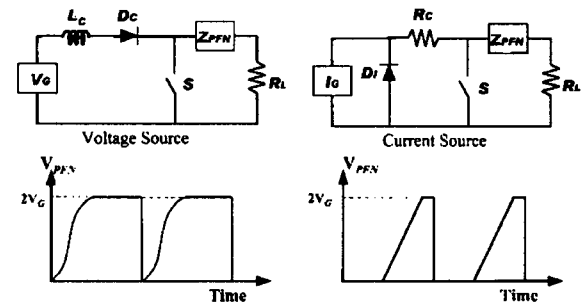
Description	Unit	Value
Peak Power (400kv*500A)	MW max	200
Average Power (8us*400kv*500A*30hz)	kW max	48
Repetition Rate	Hz max	30
	Hz normal	20
Peak Output Voltage	kV	400
Peak Output Current	A	500
ESW	us	7.5
Flat-top Width	us	4.4

표 1에 주어진 모듈레이터의 사양처럼 모듈레이터의 최대 펄스 전력은 200 MW이며 최대 평균 전력은 반복횟수가 30 Hz에서 약 48 kW이다. 현재 운전중인 5 Hz에서의 평균 전력은 8 kW이며 클라이

스트론 부하에 전달되는 최대 펄스 출력의 전압은 400 kV이고 전류는 최대 500 A이다.

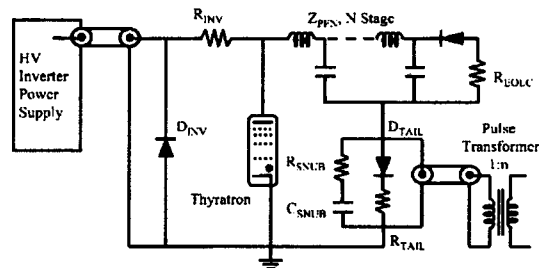
**2.2 고전압 인버터용 모듈레이터 회로**

그림 1은 PFN 커패시터에 에너지를 충전하는 방식으로 전통적인 방식의 공진 충전 방식과 새로운 충전방식인 고전압 인버터 충전 방식으로 충전하는 회로와 파형을 보여 주고 있다.



**<그림 1> 공진 충전 방식과 고전압 인버터 충전방식**

그림 2는 고전압 인버터 전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터의 PFN에 고전압 인버터 전원공급장치로부터 에너지를 PFN 커패시터에 직접 충전시켜서 싸이라트론 스위치를 통하여 부하에 에너지를 전달하는 방식을 취하고 있다. 인버터 전원공급장치를 보호하기 위한 보호회로가 들어 있으며 싸이라트론의 스위칭시 부하에서 발생하는 역전압과 노이즈를 저감시켜주기 위하여 테일 크리퍼(Tail Clipper)와 RC 스너버를 사용하고 있다.



**<그림 2> 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 펄스 모듈레이터 회로**

고전압 인버터 전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터의 특징은 아래와 같다.

- 1) 인버터 전원장치에서 직접 컨스탄트(constant) 전류가 PFN에 충전된다.
- 2) LC 공진 충전방식의 모듈레이터에서 전압변동폭을 줄게 해주기 위해서 사용하는 deQing회로가 필요 없다.
- 3) LC 공진 충전방식의 모듈레이터에서는 직류전원을 만들기 위하여 많은 고전압 소자들을 사용한다. 이러한 소자들로는 SCRs, 3상 트랜스포머, 정류 다이오드, 필터 choke, 필터 커패시터, 충전 인덕터, 충전 다이오드, deQing 회로, de-spiking choke 등이다. 그러나 고전압 인버터전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터에서는 그러한 부품들이 필요 없다.

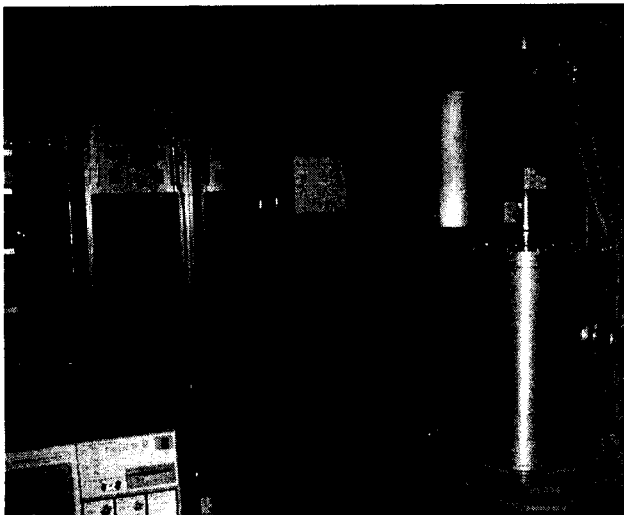
표 2에서는 고전압 인버터 전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터의

주요 부품사양을 나타내었다. 고전압 인버터 전원장치는 스위칭시 부하에 발생하는 역전압과 노이즈를 저감시키기 위하여 Diode와 RC 스너버를 사용하고 있다. 클라이스트론의 임피던스와 PFN의 임피던스는 약 2.80이며 만약 클라이스트론의 임피던스와 PFN의 임피던스 사이에 미스매칭(mismatching)이 생길 경우 발생하는 역전압으로 인하여 높은 서지전류가 인버터 전원장치의 출력 정류다이오드를 통하여 흐르게 되어 고전압 인버터 전원장치에 고장을 유발시키게 된다. 그러므로 서지전류를 제한시켜줄 수 있는 저항과 다이오드 값을 주의하여 선정하였다.

<표 2> 모듈레이터의 주요 부품 사양

Inverter Power Supply	CCDS Power Supply: 4 units (General Atomics) Output voltage: 50kv Current: 200mA Charge rate: 10kJ/s Voltage regulation: < 0.5% Efficiency: 90%
Resistors for limiting of surge current	R: 8(50Ω, 300Ω, 500W) in series, parallel
Diode for limiting of surge current	diode 48(1.6kv, 25A)
RC snubber	C: 10nF, 50kv R: 2(20Ω, 1kw) in parallel
PFN	2 parallel, 14 sections C: total 28(50nF, 50kv) L: total 28(4.5uH, max)
Thyratron	L4888 Litton(50kv, 10,000A)
Pulse transformer	SI-8164 1:17 ratio

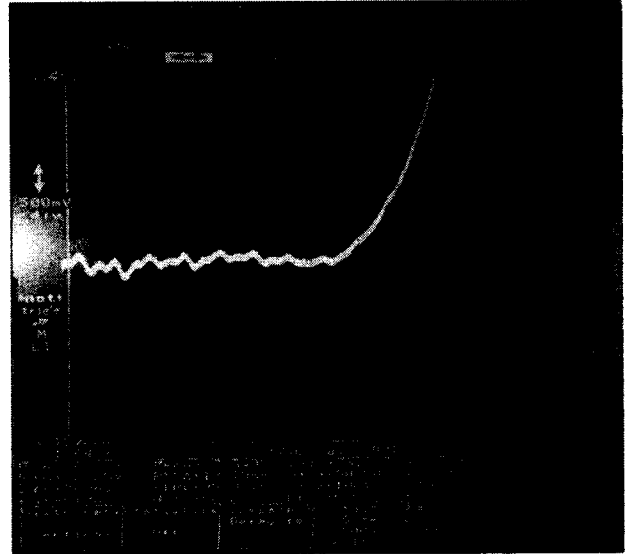
그림 3은 고전압 인버터 전원공급장치를 설치한 모듈레이터 사진이다. 랙의 오른쪽 부분은 모듈레이터 제어기를 보여 주고 있으며 랙의 왼쪽은 고전압 인버터 전원공급장치와 인터페이스 패널 그리고 오른쪽의 파란색 패널은 내부에 PFN 부분과, 싸이러트론 스위치, EOLC, 보호회로가 있는 모듈레이터 캐비닛이다. 고전압 인버터 전원공급장치는 General Atomic사에서 제작한 것으로 10 kJ, 50 kVdc, 200 mAdc를 사용하여 운전하고 있다. 여기에 부하는 펄스 트랜스퍼머의 2차측에 S-band 클라이스트론이 설치되었다.



<그림 3> 고전압 인버터 전원공급장치를 설치한 모듈레이터 사진

2.3 고전압 인버터용 모듈레이터 실험 결과

그림 4는 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 모듈레이터로부터 얻은 시험 결과를 보여준다. 고전압 인버터 전원공급장치로부터 고전압을 인가하여 PFN에 충전된 전압이 약 30 kV이었다. 클라이스트론 탱크 내부에 설치된 Stangenes Inc. 제품의 20:1 비율의 CT(0.05V/A)로부터 측정된 빔 전류 피크 부분을 확대하여 누적모드로 누적시켜서 변동되는 폭을 1시간 동안 측정하였다. 여기에서 측정된 빔 전류 변동폭은 RMS 0.19%이었다.



<그림 4> 빔 전류 안정도 측정 파형

표 3에서는 빔 전압 안정도를 측정한 파형에서 빔 전류의 변동폭을 계산한 값을 보여주고 있다. 그림 4에서 측정한 빔 전류는 Tektronix DSA602 스코프를 사용하여 측정하였다. 측정시 스코프의 측정 임피던스를 50Ω으로 측정하여서 Mean 전압이 7.349(V), RMS delta 전압이 13.79(mV)이다. 측정된 파형을 실제 값으로 계산하면 아래 표 3과 같이 294 A가 된다. 빔 전류 안정도는 RMS delat(mV) / Meam(V) \* 100 = 0.187%로 계산된다.

<표 3> 빔 전류 안정도 측정 값

DCHV(kV)	Mean(V)	CT ratio	Ib(A)	RMS delta(mV)	rms(%)	rate
30.0	14.70	20 : 1	294	27.58	0.19	5(Hz)

3. 결 론

펨토세컨드 원적외선 가속장치(Femtosecond Far-infrared Accelerator)에 파워를 공급하기위하여 S-band 80 (MW)급 클라이스트론과 200 (MW)급 펄스 모듈레이터로 구성하였다. 펨토세컨드 원적외선 가속장치에 적용된 모듈레이터 방식은 기존에 널리 사용되어진 LC 공진 충전방식의 전통적인 방식에서 사용하는 deQing 회로를 사용하지 않고도 빔 전류 안정도를 0.19%를 얻을 수 있었다. 또한 고전압 인버터전원장치를 사용한 펄스 모듈레이터는 전통적인 방식의 라인타입 공진충전 펄스 모듈레이터 보다 더 유지·보수하기가 용이하고 크기가 더 작고, 더 높은 안정도 및 효율성을 가지고 있음을 확인하였다. 현재 운전중에 있는 펄스 모듈레이터는 30 kV에 5 Hz로 운전하고 있지만 앞으로 36 kV 30 Hz로 운전을 실시할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] JS.Oh et al., "Efficiency Issue in C-band Klystron-Modulator System for Linear Collider," PAC97, KEK Preprint 97-51, June 1997A.