엑사이머 레이저 여기용 고반복 펄스압축 시스템 개발에 관한 연구

Development of multi-repetitive Pulse Compression System for excimer laser excitation.

전 상 영* , 이 주 희
경희 대학교 전자공학과

ABSTRACT

We have developed Magnetic Pulse Compression System to realize repetitive excimer laser excitation. The principle of this system is to use the large change in permiability owing to the nonlinear characteristics of ferromagnetic material(Metglas2605S-2 metal ribon) . Prior to the laser operation, the MPC system was tested with a dummy load (5Ω) and laser head. Laser head has a discharge volume of 1.0(w) x2.0 (h) x20.0(l) cm. This MPC system compressed a 6.2 us (FWHM),80 A pulse into a 0.4us(FWHM),1.3kA pulse.

1. 서론

포화 인덕터에 사용되는 강자성체의 비선형성에 기초를 두고있는 펄스 압축은 1951 년 W.S.Melvill 에 의해 [1] 레이다용으로 13 kV, 펄스폭 250ns, 첨두전력 150 kW 의 전원을 개발함으로서 시작되었다. 그러나 당시의 자성재료는 손실 가격등에서 실용성이 떨어져 레이다용으로 국한되었으나 최근, 레이저 여기원으로 고반복(>1 k Hz), 고효율 (> 75%) 장수명(10^{10}shot) , Fast risetime (< 40 ns)을 갖는 장치가 요구되고[2] , 우수한 비정질 금속의 자성재료등이 개발되어 연구가 진행중이다. 1982년에는 고반복 동작에서 문제가되는 스위칭 소자의 수명을 개선하기 위해 싸이라트론과 가포화 인덕터를 병행하여 사용한 Magnetic Assist법[3] 이 발표 되었고,1985 년에는 가포화 인덕터를 사용하여 펄스를 압축하는 자기 압축법[4] 이 발표되었다 본 연구에서는 엑사이머 레이저 여기원으로 사용하기위한 3 단의 고반복 자기 펄스압축 회로(MPC)의 개발에 대하여 보고한다.

2. 실험장치

3 단의 MPC 의 회로는 그림-1과 같다 초단의 C1을 Vmax로 충전하고 스위치를 닫으면C1,C2 의 전압 Vc1(t) , Vc2(t) 는 다음과 같이된다.

$$Vc1(t) = Vmax \left[1 - \frac{C2}{C1+C2} (1 - \cos w1\ t) \right] \quad ---(1)$$

$$Vc2(t) = Vmax \left[\frac{C2}{C1+C2} (1 - \cos w1\ t) \right]$$

$$w1 = \frac{1}{\sqrt{L1\ C_T}}$$

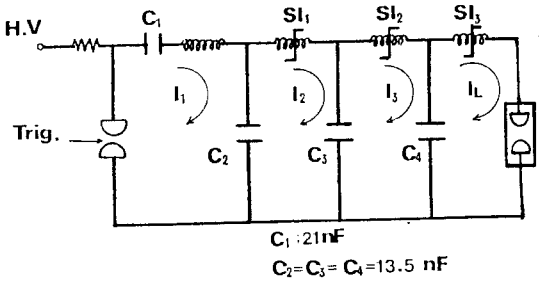

그림1. Simplified schematic diagram of MPC

또한 충전의 최대치 I1max 는

$$I_{1max} = V_{max}\sqrt{\frac{C_T}{L1}}$$

$$C_T = C1 \cdot C2 / (C1+C2)$$

만일 C1=C2 라 하면 $T1 = \frac{\pi}{\omega_1}$ 시간 경과 후에 C1 의 전하는 C2 에 이승된다. 이 때, SI가 미포화 상태에 있고 그 미포화 인덕턴스가 L1 과비교해서 충분히 큰 값이면 C1 의 전하는 효율좋게 C2 에 이승된다. C2 의 전압이 T1 경과후 Vmax 에 달했을때 SI 가 포화되면 포화된 인덕턴스가 L1 과 비교해서 충분히 작은 값이면 C2 의 전하는 C3 를 효율좋게 충전한다. 포화 상태에서 C2-SI-C3 로 구성되는 회로의 공진 각 주파수를 ω2 로 하고 C1=C2=C3 라 하면

$$\omega 2 = \frac{1}{\sqrt{L_{sat}\, C}}$$

I1 과 I2 의 전류 펄스폭 T1 과 T2 의 비는

$$\frac{T2}{T1} = \frac{\pi/\omega 2}{\pi/\omega 1} = \frac{\omega 1}{\omega 2} = \sqrt{\frac{L_{sat}}{L1}} \quad \text{-----(2)}$$

또 I2 의 최대값 I2max 는

$$I_{2max} = V_{max}\sqrt{\frac{C_T}{L_{sat}}}$$

가 되어최대 전류치의 비는

$$\frac{I2max}{I1max} = \sqrt{\frac{L1}{L_{sat}}} \quad \text{-----(3)}$$

이 된다. 효율좋게 에너지를 이승하기 위한 조건 L-sat << L1 << L-unsat 를 만족하면 (2),(3)) 식에 의해 전류 펄스폭을 압축하고 전류 최대치를 증가 시킬수 있다. 2단,3단에서도 이와같은 원리로 동작한다.

그림-2 의 회로에서 C2~C4 는 5 개의 $BaTiO_3$ 컨덴서(2.7nF,40kV) 를 병렬로 연결하였고 각 단 사이의 에너지 전송 효율을 최대로 하기위해 Capacitance 값을 같게 제작하였다.

포화 인덕터의 코아는 Toroidal 형 (id= 5 cm, od= 9cm) 를 사용하였고, 두께 22 um, 폭 2.5 cm 의 비정질 금속인 METGLAS 2605 S-2로제작하였다[5]. 포화 인덕터는 표-1 에 나타난바와 같이 여러개의 코아를 연결하여 제작하였다.

	Nt	Nc	A_t (cm^2)	V_c (cm^3)	t_{sat} (μs)
SI_1	25	6	30	660	8
SI_2	5	5	25	550	1.3
SI_3	1	4	20	440	0.2

N_t : conductor turns

N_C: number of core

A_t : cross-section of core

V_C : volume of core

표-1. Parameters of each Saturable Inductor

부하는 레이저 head 의 방전체적이 1.0 (w) x 2.0(h) x 20.0(l)인 방전관을 사용하였고, 각단의전류는 Rogowski Coil 을 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과

그림-2에 각 단의 전류 파형을 나타내었다. 초단 6.2 us(FWHM) 의 펄스를 3단을 통해 각각1.8 us,0.56 us,0.4 us (FWHM) 의 펄스로 압축하였다. 전류 첨두치도 초단 80A 를 3단을 통해 각각 510 A,950 A,1.3 kA 의 전류로 증폭하였다. 각 단의 펄스가 각각 1.8 us 355 A, 0.33 us 1.9 kA,0.1 us 7.4 kA 가 되도록 포화 인덕터를 제작하였으나 표-2에 나타난 바와 같이 2단,3단에서 압축이 적게 되었다. 이는 포화 인덕터 SI(2), SI(3) 의 포화시 인덕턴스가 계산된 값보다 큰값을 갖기때문인 것으로 예상된다. 또한 그림-3에 나타낸 바와 같이 코아의 히스테리시스 곡선을 측정한 결과 16000G 가 아닌 14000G 에서코아가 포화되는것을 알수있었다. 이것은 코아 제작을 실제 제작한 크기보다 1.2배 크게 제작해야함을 나타낸다. 따라서 코아조건을 개선하고, 외부 인덕턴스의 영향을 최소로 하면 2단,3단 에서의 압축비를 개선할수 있다.

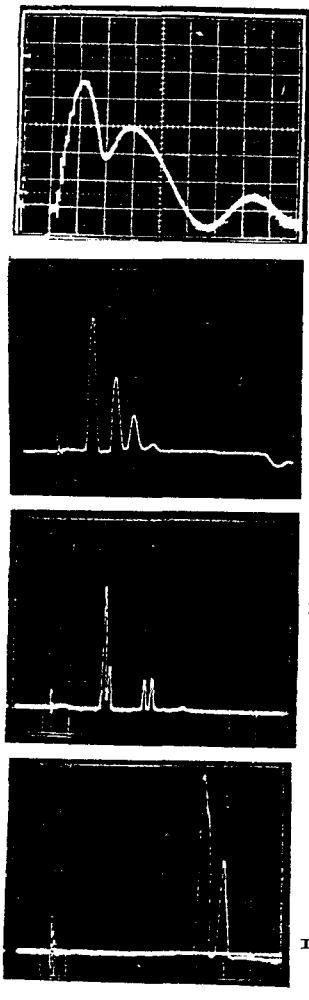

그림2. Current waveform at each stage

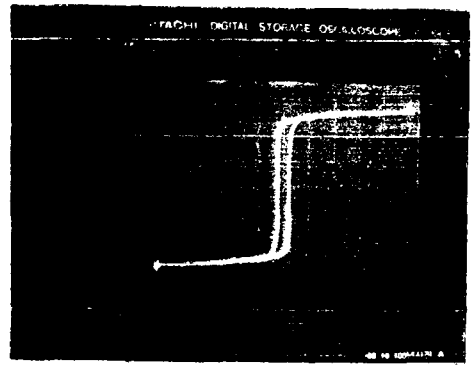

그림-3. Hysteresis loop of a core.

Parameter	
Pulse Duration	I1 ;6.2 us I2 ;1.8 us I3 ;0.56 us IL ;0.4 us
Compression ratio	15.5
Peak Current	I1;80 A I2;510 A I3;950 A I_L;1.3 kA
Current gain	16.3
Ratio of Current rise Time	9.4

표-2. Experimental results of each stage

4. 결론

액사이머 레이저를 여기하기 위한 3단의 MPC 시스템을 제작하였다. MPC 시스템을 사용하여 6.2 us,80 A의펄스를 0.4 us, 1.3 kA의 펄스로 압축하였다. 압축비는 15.5 이고 전류이득은 16.3 이다. Gap 스위치를 수십 pps로 트리거시켜 MPC 시스템이 수십 pps로 동작하도록 제작하였다. 부하로 사용한 방전관의 방전 상태를 관찰한 결과 MPC 시스템을 레이저 여기원으로 사용할수 있음을 알수있었다. 따라서 코아의 파라메터를 최적화 하여 0.1 us(FWHM) 이하, 7 kA이상의 펄스로 압축하고 고반복으로 동작시키면 cw 동작이 불가능한 액사이머 레이저의 고반복 여기원으로 사용할수 있다.

Reference

[1] Masataka Murahara et al., " 액사이머 레이저 최첨단 응용기술",56(1986)

[2] E.Y.Chu,G.Hofmann,H.Kent,T.Bernhardt 3rd Pulse Power conference,32(1983)

[3] I.Smilanski,S.R.Byron,and T.R.Burkes Appl. Phys.Lett.40(7),1 (1982)

[4] Tustomu Shimada, Minoru Obara,and Akira Noguchi,Rev.Sci Instrum.56(11) .1985

[5] 전 상엉, 최 부언, 이 주희, 한국 물리학회 Vol.6.No.2 Oct.1988