

자기스위치 시스템의 파라메타 최적화 및 출력 안정화에 관한 연구

전 상 영*, 이 주 희
경희대학교

A study on parameter optimization and output stabilization
of Magnetic Switch System.

Sang Young Jun*, Choo Hie Lee
Kyung Hee Univ.

Abstract

We have developed 3-stage of Magnetic Switch System based on the nonlinearities of ferromagnetic material used in the saturable inductor, and made experiment of parameter optimization and output stabilization of Magnetic Switch System. The cross-section and conductor turns of each saturable inductor were optimized 30 cm², 19.25 cm², 5, and 25 cm², respectively. With this condition, 6.2 us [FWHM], 96 A pulse at first stage was compressed into 0.4 us [FWHM], 1.61 kA pulse at last stage. The current gain and compression ratio were 16.8, 17, respectively. In addition, System output was stabilized with reset current of 6 A, 200 us.

1. 서 론

자기스위치를 사용한 펄스압축 방식은 1951년 W.S.Melville[1] 이 레이더용 전원을 개발하는데 처음으로 사용하였으나, 당시의 자성재료 특성은 주파수 응답속도 및 손실등에서 뒤떨어져 레이더용으로 극한되었다[2]. 그러나 최근, 자기특성이 우수한 비정질 자성재료의 개발로[3] 상승시간이 빠른 전류를 필요로 하는 레이저의 여기전원[4] 및 가속기의 전원[5] 등에 응용하려는 연구가 활발하다. 특히 자기스위치 시스템은 고체소자로 구성될 수 있으므로 수명이 반 영구적이어서[6] 이와같은 특수용도의 여기전원으로 매우 주목을 받고있다[7]. 최근 I.Smilansk 등[8], R.A.Petr 등[9], T. Shimada 등[10]의 보고에서 자기스위치를 레이저 여기전원으로 유용하게 사용할 수 있음을 제시하였다.

본 논문에서는 엑사이머 레이저의 여기전원에 적합한 3단의 자기스위치 시스템의 설계제작과 시스템 파라메타의 최적화[11] 및 리셋 전류에 의한 출력 안정화에 대하여 서술한다.

2. 자기스위치시스템의 설계 및 제작

1). 펄스압축의 원리

3 단 자기스위치 시스템의 동작회로는 <그림-1> 과 같이 펄스전원의 콘덴서 및 인덕터 C₀, L₀와 각단의 콘덴서 및 포화인덕터 C₁, C₂, C₃, SI₁, SI₂, SI₃로 구성된다. 각단의 콘덴서 간에서 에너지 전송은 포화인덕터의 스위칭 동작으로 가능하게 된다. 따라서 최종단에서 펄스의 폭은 좁고, 펄스 상승시간이 빠른 전류 펄스를 얻게 된다.

<그림-1>에서 C₀를 충전한 후 트리거 스위칭을하면 τ = √L₀/C₀ 시간 경과후에 C₀의 전하는 C₁에 이송된다. 이때, SI₁은 미포화 상태에 있다면 C₀의 전하는 효율증개 C₁에 이송된다. 같은 방법으로 τ 시간 경과후 SI₁이 포화되면 C₁의 전하는 C₂에 이송된다. 이러한 과정에서 SI₁의포화 인덕턴스 L_{sat}가 L₀에 비해서 충분히 작으면 I₁의 펄스폭은 I₀의 펄스폭 보다 좁게되어 펄스압축이 이루어진다. I₀와 I₁의 각각의 펄스폭 T₀와 T₁이 (1)식과 같다면 T₀와 T₁의 비로 정의하는 펄스 압축비 CR (Compression ratio)은 (2)식과 같다.

$$T_0 = \pi \sqrt{L_0 \frac{C_0 \cdot C_1}{C_0 + C_1}}, \quad T_1 = \pi \sqrt{L_{sat} \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}} \quad \text{-----(1)}$$

$$CR = \frac{T_0}{T_1} = \sqrt{\frac{L_0}{L_{sat}}} \quad \text{-----(2)}$$

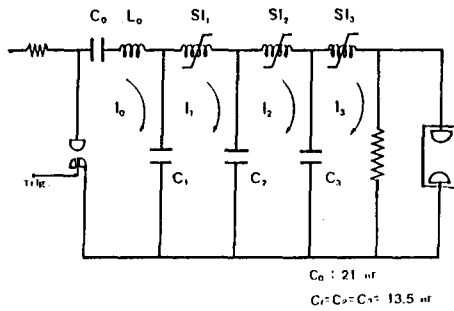


Fig.1. Schematic diagram of Magnetic Switch System.

	N_i	N_c	A_i (cm^2)	V_c (cm^3)
SI ₁	25	6	3.0	66.0
SI ₂	5	5	2.5	55.0
SI ₃	1	4	2.0	44.0

N_i : conductor turns
 N_c : number of core
 A_i : cross-section of core
 V_c : volume of core

Table 1. Parameter of each stage saturable inductor.

또한 전류 최대값 I_0 와 I_1 의 비로 정의되는 최대전류비율은 (3)식과 같다.

$$\frac{I_1 \max}{I_0 \max} = \sqrt{\frac{L_0}{L_{sat}}} \quad \text{-----}(3)$$

효율중계 에너지를 이송하기 위한 조건으로 (4) 식을 만족하면 (2), (3) 식에 의해 전류 펄스폭을 압축하고 전류 최대치를 증가 시킬 수 있다.

$$L_{sat} \ll L_0 \ll L_{unsat} \quad \text{-----}(4)$$

2 단 및 3 단 에서도 같은 원리로 펄스를 압축할 수 있다.

2. 시스템의 파라메타 설계

< 그림-1 > 에서 포화인덕터의 단면적은 포화 인덕터의 포화시간에 의해 결정된다. 1 단에서는 C_1 의 충전시간 T_0 의 동안에 SI_1 이 미포화 상태 이어야 하므로 SI_1 이 포화에 이르기까지의 시간은 T_0 와 같다. T_0 경과후 미포화에서 포화상태에 이르기 위해서는 (5)식을 만족해야 하고[12], 이때의 포화 인덕턴스는 (6)식과 같게 된다.

$$\int_0^{T_0} V dt = Nt At \Delta B \quad \text{-----}(5)$$

$$I = \frac{U_0 U_{rsat} At Nt^2}{l} \quad \text{-----}(6)$$

여기서 At 은 자상체의 단면적, Nt 는 도선의 권회수, V 는 포화인덕터에 인가되는 전압, ΔB 는 자속밀도의 변화량, l 은 자로의 길이 U_{rsat} 은 자상체의포화시 부자율이다. 강자성체의 포화자속밀도를 B_m 라하면 $\Delta B=2B_m$ 로 근사된다.

(2), (6)식에서 알 수 있듯이 높은 압축비의 실현은 포화인덕턴스 값을 작게하여 이를 수 있다. 따라서 포화 자속밀도 B_m 가 큰 자성체료를 사용하여 자심 단면적을 작게해야 한다 본 실험에서 사용한 포화인덕터의 단면적은 폭 2.5 cm 두께 22 μm 인 Metglas 2605 S-2 [13]를 내경 5 cm 외경 9 cm 의 토로이드 형태로 제작하였다. 포화인덕터는 포화시간과 인덕턴스를 용이하게 조정할 수 있도록 몇개의 단면적을 연결하여 사용하였다[11,14]. < 표-1 >은 각 단의 포화인덕터에 대한 파라메타의 설계값을 나타낸다.

본면서는 시스템내의 인덕턴스에 영향을 주지않는 $BaTiO_3$ 계의 무인덕턴스 세라믹 콘덴서를 5 개 병렬로 연결하여 사용하였고, 부하는 10Ω의 무유도 저항과 레이저관을 사용하여 전압과 전류 특성을 측정하였다. 실험에 사용한 방전관은 아르밀제로서 방전관의 채적은 7 cm(w)×4 cm(h)×56 cm(l) 이다.

각단의 전류는 Person Electronic INC .,의 Current transformer , 전압은 무유도저항을 각각 사용하여 측정하였고 Tektronix 468 로 관측하였다.

3. 실험결과 및 검토

1). 시스템의 파라메타 최적화

포화인덕터의 파라메타를 최적화 하기위해 우선 SI_1 의 코어 단면적과 도선 권회수를 변화시켜 최대 전류값과 빠른 상승시간을 나타내는 조건에서 SI_1 을 고정한 다음 SI_2 의 최적 조건을 찾아서 고정한단. 최종단은 SI_1 과 SI_2 의 일정 조건에서 SI_3 의 최적조건을 찾게 된다. 실험결과 < 그림-2 > 와 같이 SI_1, SI_2, SI_3 는

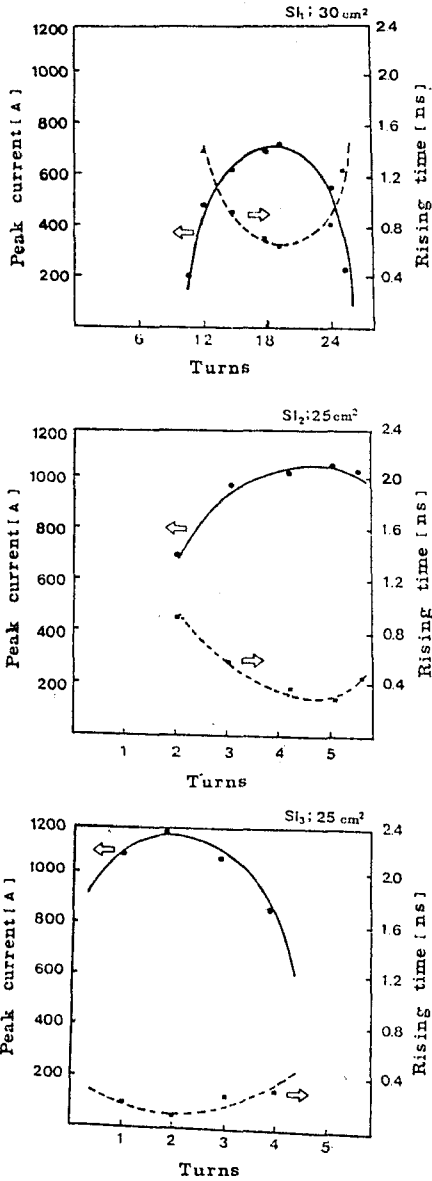
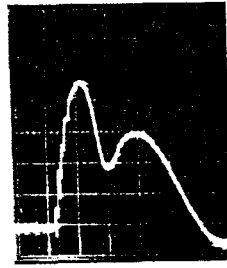


Fig.2. Dependence of rising time & peak current as a function of number of turns.

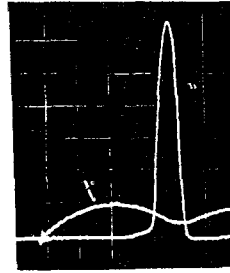
각각 30 cm² 회, 25 cm² 회, 25 cm² 회에서 최적조건을 나타내었다. 이와같이 파라미터를 최적화 하였을 때 각 단의 전류 파형과 실험결과를 < 그림-3 > 과 < 표-2 > 에 각각 나타내었다.

< 그림-3 > 에서와 같이 초단 96 A, 6.8us [FWHM]의 펄스가 최종단에서 1.61 kA, 0.4 us [FWHM]의 펄스로 압축되므로 이때의 최대 전류 이득과 펄스 압축비는 각각 16.8, 17 이다.

2). 리셋전류에 의한 시스템속력 안정화



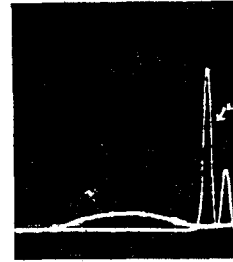
I₀ 20 A/div
5 us/div



I₁ 100 A/div
2 us/div

Compression ratio; $\frac{I_1}{I_0} = 4.9$

Current gain; $\frac{t_{r0}}{t_{r1}} = 5.7$



I₂ 200 A/div
2 us/div

Compression ratio; $\frac{I_2}{I_1} = 12.6$

Current gain; $\frac{t_{r1}}{t_{r2}} = 8.9$



I₃ 200 A/div
2 us/div

Compression ratio; $\frac{I_3}{I_2} = 17$

Current gain; $\frac{t_{r2}}{t_{r3}} = 16.8$

Fig.3. Waveform of each stage.

	I_0	I_1	I_2	I_3
Peak current (A)	96	55.0	85.0	161.0
Pulse width (us)	6.8	1.4	0.54	0.4
Current gain		$I_1/I_0 = 5.7$	$I_2/I_0 = 8.9$	$I_3/I_0 = 16.8$
Compression ratio		$I_0/I_1 = 4.9$	$I_0/I_2 = 12.6$	$I_0/I_3 = 17$
dI/dt (A μ s)	1.4×10^7	3.9×10^8	1.6×10^9	3.5×10^9

	C_1	C_2	C_3	Load
Charging voltage (kV)	30	23.2	19.6	18.8
Stored energy (J)	6.1	3.6	2.6	2.4
Efficiency (%)		59	42.6	39.3

Table.2. Experimental results of each stage.

<그림-4> 는 Shot 수에 대한 전류 최대값의 변화를 나타낸다. <그림-5> 와 같이 B가 포화치에 도달한 다음 H를 감소시켜 0으로 하여도 B는 0이 되지 않고 B_r 의 양만큼 남게된다. 이러한 잔류자속밀도로 인하여 전류 최대값의 변화가 나타난다. 따라서 잔류자속밀도를 0으로 하기 위해서는 역방향으로 자계를 인가하여야 하는데 본 실험에서는 최대값 6A, 펄스폭 200us의 전류를 포화인덕터에 역방향으로 인가하였다. 이때의 전류 최대값 변화는 <그림-6> 과 같다.

그림에 나타난 바와같이 역방향으로 자계를 인가하였을 때는 전류 최대값이 거의 일정함을 알 수 있다. 따라서 시스템의 출력을 안정화하기 위해서는 포화인덕터에 사용한 강자성체에 맞는 보자력(Coercive force)을 인가해 주어야 함을 알 수 있다.

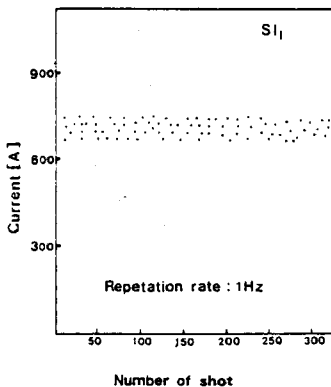


Fig.4. Variation of peak current as a function of shut numbers(without reset current).

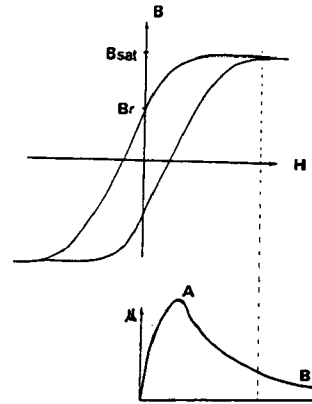


Fig.5. B-H and M curve of ferromagnetic material.

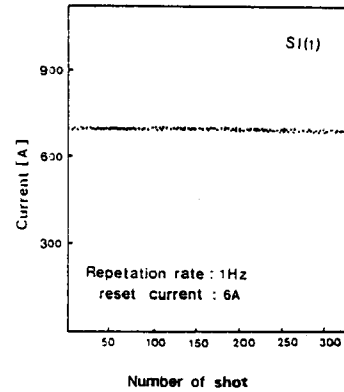


Fig.6. Variation of peak current as a function of shot numbers(with reset current).

4. 결론

엑사이머 레이저의 어기전원에 사용하기 위한 3 단의 자기스위치 시스템을 제작하였다.

자기스위치 시스템의 각 단의 포화인덕터는 단면적과 권회수가 각각 30 cm^2 19회, 25 cm^2 5 회, 25 cm^2 2 회에서 최적조건 이었으며, 최적조건에서 초단 90 A, 6.2 us[FWHM]의 펄스가 최종단에서 1.61 kA, 0.4 us[FWHM]의 펄스로 압축되었다. 이때의 전류이득과 펄스압축비는 각각 16.8, 17 이었다.

또한 강자성체의 잔류자속밀도에 의한 시스템의 출력 불안정성을 해결하기 위해 최대값 6 A, 펄스폭 200 us의 전류를 포화인덕터에 역방향으로 인가하여 출력을 안정화 하였다.

이와같은 펄스 압축의 결과는 자기 스위치 시스템은 엑사이머 레이저 어기용 전원으로 사용 가능함을 제시한다. 또한 시스템에 사용된 트리거 스위치를 고반복으로 동작시키면 고반복 레이저의 어기원으로 사용 가능하다.

참고문헌

- [1]. E.Y.Chu, G.Hofmann, H.Kent, and T.Bernhardt
IEEE Conference Record of 15th Power
Modulator Symposium, June, 14-16, 32(1982)
- [2]. Masataka Murahara et al., "エキシマレーザー
最先端 応用技術", 56, (1986)
- [3]. Carl H.Smith, IEEE Conference Record of
15th Power Modulator Symposium, 12, June
(1982)
- [4]. D.L.Birx, L.L.Reginato, and J.A.Schmidt,
IEEE Conference Record of 15th Power
Modulator Symposium, 4, June(1982)
- [5]. W.C.Nunnally, 3rd IEEE Pulsed Power
Conference, 210(1981)
- [6]. O.Kobayashi, K.Noda, T.Shimada, and M.Obara
SPIE, Vol.622, High Power and Solid State
Lasers, 23-24, 110, (1986)
- [7]. T.Shimada, M.Obara, and A.Noguchi, Rev.Sci.
Instrum.56(11) 2018, Nov.(1985)
- [8]. I.Smilanski, S.R.Byron, and T.R.Burkes,
Appl. Phys.Let., 40(7), 1, 547, April(1982)
- [9]. R.A.Petr, J.F.Zumdieck, J.Demboski, I.Smi-
lanski, J.J.Ewing, and R.E.Center, 4th
IEEE Pulsed Power Conference, 236
(1983)
- [10]. T.Shimada, and M.Obara, 5th IEEE Pulsed
Power conference, 10-12 (1985)
- [11]. 전상영, 이주희, 제 4회 파동및 레이저
학술 발표회, 36(1989.2)
- [12]. D.L.Birx, E.J.Lauer, L.L.Reginato, D.Rogers
Jr., M.W.Smith, and T.Zimmerman, 3rd IEEE
Pulsed Power Conference, 262(1981)
- [13]. MITSUI & Co., LTD., Metglas 자성재료, 기술
자료, (1984)
- [14]. 전상영, 이주희, 한국물리학회 제 56 회
학술논문발표회, Vol.6, No.1, April(1988)