

PLS-II 키커 모듈레이터 설계 및 제작

손윤규, 안석호, 신승환, 이태연
포항가속기연구소

The Design and Fabrication of the Kicker Modulator for PLS-II

Yoon Kyoo Son, Suk Ho An, Seung Hwan Shin, Tae Yeon Lee
Pohang Accelerator Laboratory

ABSTRACT

The kicker modulator was upgraded and installed in 1995. The PLS II injection kicker modulator is configured with series resonant circuit. A total of four kicker magnets are used to distribute the normal storage ring beam orbit toward the septum magnet wall. Only one kicker modulator is used to drive the four kicker magnets. It is not adjust the current magnitude and timing of magnets. During the kicking, the beam has oscillation of 2 mm horizontal direction and 200 μm vertical direction in present injector system. Our goals is to decrease the oscillation less than 300 μm. To give balanced current for all four magnets and to have precise timing between magnet current, we have plan to divide kicker power supply into four individual power supply. In this paper, the design of new individual kicker power supply and Fabrication of the new injector system is presented.

1. 서 론

포항가속기연구소 저장링 입사기 키커는 일체형 전원이며 네 개의 키커 마그넷에 전원을 공급하고 있다. 성능향상과 입사 시에 빔 흔들림을 줄이기 위해 마그넷 코일마다 독립 되게 구동되는 단 일전원으로 설계하였다. 키커 마그넷의 요구사양은 운전전류 5 kA 운전주파수 10 Hz이다. 펄스폭 6.0 μs 최대 침투전류 10 kA인 프로트타입의 키커 모듈레이터를 제작하였다. 본 논문에서는 프로트타입 키커 전원의 설계방법 및 시험결과를 비교고자 한다.^[1]

2. 본 론

2.1 입사기 키커 시스템

입사기 마그넷과 전원장치 간의 결선방법은 1번과 3번 마그넷 그리고 2번과 4번 마그넷이 직렬로 연결 되어있다. 직렬 연결된 두 그룹의 마그넷은 전원에는 병렬로 연결 되어있다. 입사기 구간은 전체 길이가 6 m이고 각각의 키커 코일과 코일사이의 거리는 1.6 m이며 직류마그넷(렘버슨 마그넷)이 있는 구간은 2.5 m이다. 입사구간의 적은 구간에서 전자 빔을 저장링 궤도에 주입하기 위해서는 자석에 공급되는 전류의 세기를 크게 하여야 한다. 입사 시에 강한 자장의 영향에 의해 저장된 빔이 수평방향과 수직방향으로 빔의 요동현상이 발생된다. 빔 요동현상을 줄일 방법으로 제안된 것이 전원의 분리이다. 단일전원으로 분리하면 코일에 전류

크기와 지연시간의 조정이 가능해진다. 빔 입사 시에 이들 변수를 조정하여 요동현상을 경감시킬 수 있다.^[2]

2.1.1 펄스 모듈레이터 사양

표 1은 키커 펄스 모듈레이터의 사양을 보여주고 있다. 전원의 운전전류는 8 kA이고 최대 10 kA 운전전압 10 kV로 설계하였다.

표 1 키커 모듈레이터 사양

Table 1 Specification of Kicker Modulator

| Parameters | Specification | | |
|------------------------------|---------------|--------|------|
| | Max | Normal | Unit |
| Peak Current(total) | 10 | 8 | kA |
| Pulse width | 6 | 6 | μs |
| FWHM | 3 | 3 | μs |
| Flat top Width(<±0.2%) | 200 | 200 | μs |
| Repetition Ratio | 10 | 10 | Hz |
| Peak Charging Voltage | 10.1 | 8.2 | kV |
| 1)Total System Inductance | 1.43 | 1.43 | μH |
| Kicker Magnet Inductance | 1.09 | 1.09 | μH |
| Total Line Inductance | 0.34 | 0.34 | μH |
| 2)Total System Capacitance | 1.6 | 1.6 | μF |
| 3)Characteristic Impedance | 0.94 | 0.94 | Ω |
| 4)Line Resistance | 80.3 | 80.3 | mΩ |
| 5)Total Impedance | 1.02 | 1.02 | Ω |
| Energy per Pulse | 81.9 | 53.8 | J |
| Maximum Operable Beam Energy | 3.0 | 3.0 | GeV |

2.1.2 회로 전산모사

키커 모듈레이터 회로는 커패시터 C와 마그넷 L을 직렬로 연결한 LC 직렬공진 회로이다. 출력파형은 사인반파이며 최대 침투치는 10 kA로 된다. 키커 마그넷에 흐르는 전류의 계산은 식(1)을 사용하여 계산된 결과를 그림 1에 나타내었다. 식(2)는 각속도를 표현한 것이고 식(3)은 펄스폭을 식(4)는 에너지를 계산하는 식이다. 펄스폭 6.0 μs를 생성하기 위한 회로구성으로 전원장치 내부의 커패시터는 1.6 μF를 선정하였고 마그넷의 인덕턴스는 0.867 μH를 사용하였다. 시스템에 존재하는 인덕턴스는 키커 마그넷 인덕턴스를 제외한 케이블 인덕턴스와 내부 배선 인덕턴스가 대부분을 차지한다. 인덕턴스 증가는 펄스폭이 늘어나게 되고 회로임피던스가 커져서 필요한 자장을 만들기 위한 전류와 공급해야 하는 전압도 크게 해야 한다.

$$i(t) = \frac{V_o}{\omega L_t} e^{-\frac{R}{2L_t}t} \sin(\omega t) \quad \text{식(1)}$$

여기서,

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_t C_t} - \frac{R^2}{4L_t^2}} \quad \text{식(2)}$$

$$\tau = \pi \sqrt{L_t C_t} \quad \text{식(3)}$$

$$E = \frac{1}{2} C_t V_o^2 \quad \text{식(4)}$$

로 된다.

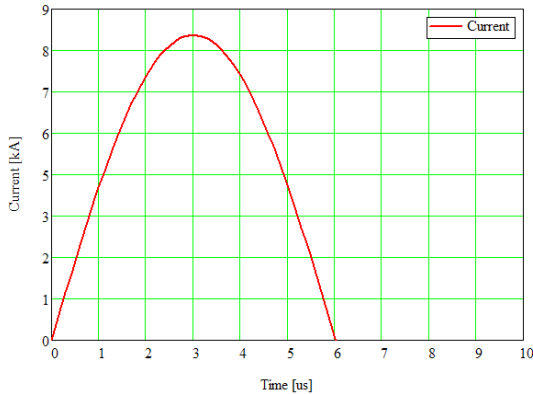


그림 1 키커 모듈레이터 전기회로도

Fig. 1 Kicker electrical circuit diagram

2.2 키커 모듈레이터 회로구성

키커 모듈레이터의 구성은 인버터 충전회로와 에너지 저장용 커패시터 C_s 그리고 역 전압 방지회로(다이오드 D_b 와 저항 R_b) 부하인 마그넷 인덕터 L_k 로 그림 2와 같다. 충전회로인 인버터는 지령충전에 의해 충전이 이루어지며 에너지 저장용 커패시터인 C_s 에 에너지를 저장한 다음 방전스위치인 싸이랏론 S 를 통해서 부하인 키커 마그넷 L_k 와 직렬공진에 의해 에너지를 전달하게 된다. 식(3)을 이용하여 계산한 펄스폭은 $6.0 \mu s$ 이다.^[3]

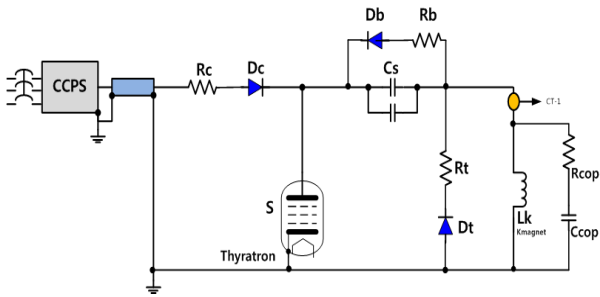


그림 2 키커 모듈레이터 전기회로도

Fig. 2 Kicker electrical circuit diagram

실제 측정된 펄스폭은 $6.77 \mu s$ 이다. 계산된 결과와 측정 결과가 거의 일치하였으며 약간 상이한 것은 동축케이블 커패시턴스 영향에 의한 것이다. 전류 상승초기에 파형 왜곡현상이 발생하며 전자 빔을 인젝션 하는 동안 저장되어 있는 빔에 영향을 주게 된다. 파형 왜곡현상을 줄이기 위해서는 동축케이블 커패시턴스 효과를 줄여야 한다.^[4]

2.2.1 회로 시험 및 분석

실험에서 키커 마그넷의 인덕턴스는 $0.867 \mu H$, 커패시턴스

$1.6 \mu F$, $2.4 \mu F$ 두 종류에 병렬해서 시험을 진행 하였다. 키커 모듈레이터와 키커 마그넷 간의 케이블 길이는 $5 m$ 로 하였다. 시스템 인덕턴스를 줄이고자 선로배선은 짧게 하고, 동 부스바를 사용하여 접속부위의 면적을 크게 하였다. RG8U 동축케이블 20가닥을 병렬로 연결 하여 실험하였다. 실험에서 측정된 출력전류 파형과 전산모사 결과 파형을 그림 3에서 보여주고 있다.

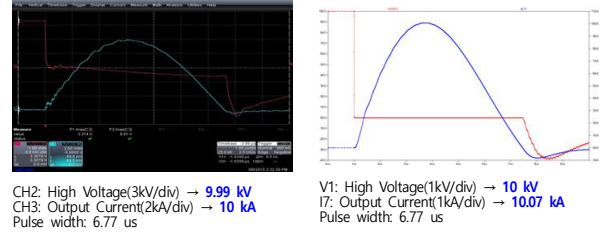


그림 3 출력전류파형

Fig. 3 Output current waveforms

3. 결 론

일체형 전원방식에서 단일전원으로 설계를 진행하였다. 펄스폭은 저장된 빔에 영향을 주며 짧게 생성하여 공급하는 것이 중요하다. 실험에서 펄스폭을 줄일 목적으로 동축케이블 여러 가닥을 병렬로 연결하여 실험하고, 케이블 한 가닥으로 실험한 후 그 결과를 비교하였다. 케이블 여러 가닥을 병렬로 하면 케이블의 커패시턴스 값이 커서 펄스 상승구간에 파형이 왜곡이 발생되고 동축케이블 한 가닥으로 하는 경우는 인덕턴스 증가가 확인되었다. 또한, 역 전압을 제한하는 회로 실험으로 방전 후 싸이랏론 스위치 양단의 역 전압을 억제 할 목적으로 부하와 병렬로 스너버회로(R C)가 설치되어 있는데, 스위칭 후 역 전압에 의한 오버슈트가 발생하고 있다. 이를 제거 할 목적으로 스너버회로(R D)의 방식을 제안하고 전산모사를 통해 오버슈트현상이 억제되는 것을 확인하였다. 스너버 R D회로 시험과 향 후 싸이랏론 스위치를 대체 할 수 있는 반도체 스위치의 개발과 실험을 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Nan, S. H., Jeong, S. H., KO, I. S., "Operating Characteristics of the PLS Injection Kicker Modulator" In: KEK PROCEEDINGS. NATIONAL LABORATORY FOR HIGH ENERGY PHYSICS, 1998. p. 588 592.
- [2] Nam, S. H., JEONG, S. H., SUH, J. H., "Study on the PLS injection kicker magnet and modulator" In: Proceedings of the Second Asian Particle Accelerator Conference, Beijing, China. 2001.
- [3] 손윤규, 장성덕, 황운하, 이병준, 최재영, PLS II 인젝션 키커의 단일전원장치 설계에 관한연구, Proc. of the KIEE Summer Conference 2015, pp1197 1199, Muju Deogyusan Resort, MuJu, Korea, July 15 17, 2015
- [4] 정성훈의 4명, "Kicker Modulator Technical Report", 내부보고서 PAL PUB 2000 007, 2000