

# 上海同步光源定时系统物理设计\*

张文志<sup>1)</sup> 刘桂民 赵黎颖 戴志敏

(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

**摘要** 正在建造中的上海光源(SSRF)设计为一台能量为3.5GeV的第三代同步辐射光源,其定时系统的物理设计使其能够满足储存环的不同运行模式,如单束团模式、多束团模式、混合模式及Top-up运行模式,定时系统具有高的稳定性和低的时间晃动.基于EPICS控制系统的定时系统可提供精确的可编程事件驱动信号序列,根据不同需求提供电子枪、调制器、增强器和储存环高频,注入引出及束测等设备的触发信号.

**关键词** 同步 事件驱动 延时

## 1 引言

SSRF由直线加速器、增强器及储存环组成,直线加速器高频频率为3GHz,增强器与储存环为500MHz,高频谐波数分别为300和720,周长之比为: $C_{\text{Booster}} = \frac{5}{12}C_{\text{SR}}$ ,其定时系统需提供触发信号以控制束流从直线加速器到增强器的注入、增强器的升能和引出以及储存环的注入等.

从直线加速器电子枪引出的单束团或多束团电子束,注入到增强器加速至3.5GeV引出后注入到储存环中储存累积.为实现储存环的各种运行模式,定时系统需要提供精确的触发信号时序对各种设备进行触发,将束团注入到储存环中指定的高频Bucket中,以满足SSRF不同运行模式的要求.

## 2 运行及填充模式

根据光源的用户要求,SSRF有以下几种运行模式:a单束团运行模式,b多束团运行模式,c混合运行模式,d Top-up运行模式(恒流运行模式).

单束团运行模式即在储存环中只有一个束团,注入束团需注入到储存环中同一高频Bucket中;多束团运行模式即为在储存环中有多个束团均匀分布(束团的数目由用户确定),或一串束团填充于储存环中的一部分,其它部分为空;混合运行模式为多束团运动与单束团运行相结合,在一串束团后跟一单束团,束团

的相对位置由用户提出;Top-up运行模式即为恒流模式,储存环中高频Bucket全部填充,且各Bucket中束流强度基本相同.

对于储存环的多束团运行模式,又可实现各种填充,如1/4填充,均匀填充等.对于不同的运行模式,需要精确设置定时系统的触发延时来实现;对于前3种运行模式,实际上由单束团运行模式来控制实现,而对于Top-up运行模式,需要对储存环的目标Bucket进行测量并计算相应的延时,再由定时系统控制实现.

## 3 事件序列

SSRF的运行频率为2Hz,在一个周期内的主要事件序列为直线加速器电子枪触发,直线加速器速调管

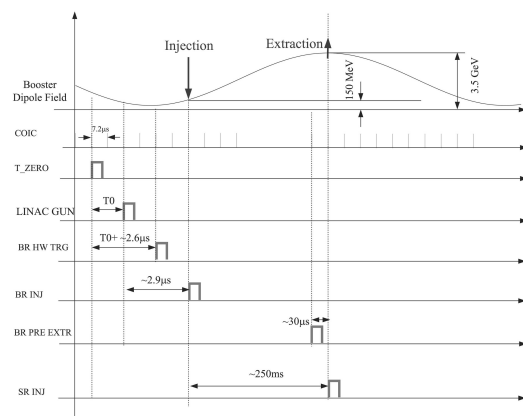


图1 主要设备时序关系

2008-01-07 收稿

\* 国家大科学工程和上海光源资助

1) E-mail: zhangwz@sinap.ac.cn

调制器触发, 电子枪束团调制器触发, 增强器注入 Septum 铁触发, 增强器注入 Kicker 铁触发, 增强器磁铁(二极、四极、六极铁及校正铁)及 RF 触发, 增强器引出凸轨磁铁触发, 增强器引出 Kicker 铁及引出切割铁触发, 储存环注入切割铁触发, 储存环注入 Kicker 铁触发, 其它束流测量设备同步触发, 主要设备时序关系如图 1 所示.

## 4 时钟信号

定时系统需建立的时钟信号: (1) BROC (Booster Ring Orbit Clock) – 1.667MHz (500MHz/300),  $0.6\mu\text{s}$ , 即电子束在增强器中的回旋周期; (2) SROC (Storage Ring Orbit Clock) – 0.694MHz (500MHz/720),  $1.44\mu\text{s}$ , 即电子束在储存环中的回旋频率. (3) CIOC (Coincidence Clock)–0.139kHz (500MHz/(300×12)),  $7.2\mu\text{s}$ , 记录增强器与储存环同步时钟.

以上时钟信号由 500MHz 主振信号源为基准.

## 5 各主要设备触发信号波形

各设备所需触发信号波形, 波形宽度及相关参数如图 2 所示.

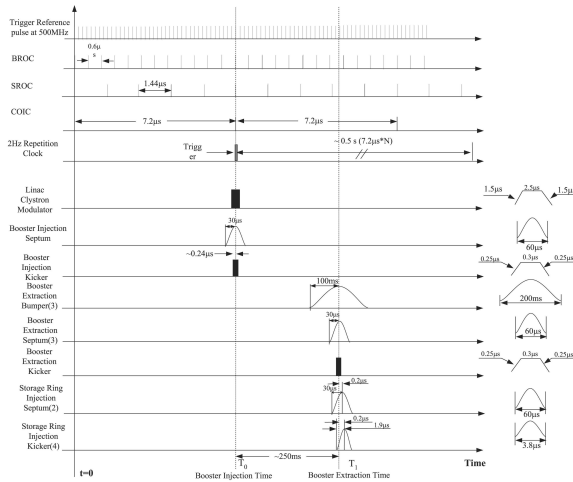


图 2 主要设备触发信号波形及参 (N 为整数)

图中参考信号为 500MHz 的高频信号, 电子枪的触发须以 CIOC 为基准, 以保证束团注入增强器的固定的高频 Bucket, 其他设备的触发延时相对于电子枪的触发而定义.

束流从电子枪出来后在直线加速器及低能输运线中传输的时间约为  $\sim 0.16\mu\text{s}$ , 然后束流在增强器中升能至引出能量 3.5GeV, 束流的引出时间  $T_1$  (相对于注入时间  $T_0$ ) 取决于束流在增强器中加速所需时间及 Top-up 注入所需的等待时间, 约为  $250\text{ms} \pm 7.2\mu\text{s}$ , 束

流从增强器中引出后在高能输运线中的传输时间约为  $\sim 0.2\mu\text{s}$ , 然后注入到储存环中.

## 6 束流注入及运行模式

SSRF 将采用多种填充运行模式, 以满足用户的不同需求, 如单束团云运行模式, 多束团模式及 Top-up 注入运行模式.

### 6.1 单束团及多束团

单束团, 多束团混合束团模式, 从定时控制的角度可归结为单束团运行, 通过对束流传输时间的计算给出直线加速器、增强器及储存环之间高频信号的相位关系, 并保持高频相位之间的稳定, 实现单束团(或以一束团为头的一串束团)注入至增强器固定的高频 Bucket, 升能后引出注入至储存指定的 Bucket 中. 通过调节电子枪的触发延时、增强器的注入及引出设备的延时来实现. 由于直线加速器、增强器与储存环之间的高频相位锁定, 束团由直线加速器传输至增强器的时间固定, 增强器与储存环的高频 Bucket 进行编号, 它们之间对应关系列于表 1.

表 1 器 0# Bucket 与储存环 RF Bucket 的对应关系

增强器圈数	储存环圈数	Ring Bucket 编号
1	1	0
2	1	300
3	1	600
4	2	180
5	2	480
6	3	60
7	3	360
8	3	660
9	4	240
10	4	540
11	5	120
12	5	420

增强器与储存环的高频谐波数分别为 300 和 720, 最大公约数为 60, 增强器 0# 号高频 Bucket 中的束团可以注入到储存环的以 60 为倍数的 12 个 Bucket 序号中, 束团在增强器中最长的等待时间为  $12 \times 0.6\mu\text{s} = 7.2\mu\text{s}$ . 而其它目标 Bucket (比如  $0 \sim 60, 60 \sim 120$  等) 的注入, 需要对直线加速器电子枪及增强器注入引出设备触发事件序列进行延时来完成<sup>[1]</sup>.

增强器等待圈数与储存环目标 Bucket 以及所需延时的关系由下式计算:

$$N = (5 \cdot P) \text{ Modulus } 12,$$

$$T_{\text{delay}} = 2\text{ns} \times \text{Rem}(M/60),$$

其中  $M$  为储存环中目标 Bucket,  $N$  为束团在增强器中所等待的圈数,  $P$  为  $M/60$  取整数部分, 例如储存环所需注入的 Bucket 数为 68, 则  $N = 5$ , 所需的延时为

$2\text{ns} \times 8 = 16\text{ns}$ ; 若 Bucket=190, 则  $N = 3$ , 所需的延时为  $2\text{ns} \times 10 = 20\text{ns}$ . 需要延时触发的设备为: 直线加速器电子枪、直线加速器速调管调制器、增强器注入设备、增强器引出设备、储存环注入设备、其它需要延时触发的相关测量设备. 上述设备中前面三个设备具有相同的延时时间, 延时为  $T1 = M \cdot 2\text{ns}$ , 后二种设备具有相同的延时, 延时时间为  $T2 = T1 + N \cdot 0.6 \mu\text{s}$ .

电子枪的最大延时时间为  $120\text{ns}$ , 注入引出设备的最大延时为  $7.32\mu\text{s}$ , 在注入过程中需要调节两个变量, 即电子枪延时时间及增强器等待圈数.

## 6.2 Top up 注入运行

Top up 运行与单束团注入不同之处在于在储存环运行过程中随时测量储存束流, 当某一高频 Bucket 内流强小于设定阈值时, 需要对该 Bucket 束流强度进行补充, 也就是说在运行过程中, 机器能够自动确定需要补充的 Bucket 编号, 从而根据前面介绍的方法对目标 Bucket 进行注入; 需要自动填充的 Bucket 编号由

束测系统提供.

## 7 定时系统稳定性及精度要求

由于 Linac 高频系统与增强器高频系统有固定的相位关系, 定时系统的晃动会影响增强器的纵向接收度, 即影响储存环的注入效率.

增强器时间接收度由其动量接收度所决定, 相对同步粒子到达时刻为  $\Delta t_b$  所引起的动量振荡为

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{2\pi\Omega_s f_{\text{rev}}}{\alpha} \Delta t_b,$$

其中  $\Omega_s = \left[ \frac{ah \cos \phi_s V_{\text{RF}}}{2\pi E_s} \right]^{1/2}$  为同步振荡波数,  $h$  为高频谐波数  $h = 300$ ,  $\alpha = 0.01849$  为动量压缩因子,  $\phi_s$  为同步相角, 注入时同步相角  $\phi_s \sim 150^\circ$ ,  $\Delta p/p \sim 0.4\%$ ,  $\Omega_s = 0.0319$ , 可得增强器时间接收度  $\Delta t_b = 0.22\text{ns}$ , 考虑到注入束本身的动量散度, 定时系统的时间晃动应满足  $\leq \pm 100\text{ps}$ .

## 参考文献(References)

- 1 Chernousko Y, Gonius A et al. The Timing System for Dia-

mond Light Source, Proceedings of EPAC 2006, Edingurgh, Scotland

# Physical Design of the SSRF Timing System<sup>\*</sup>

ZHANG Wen-Zhi<sup>1)</sup> LIU Gui-Min ZHAO Li-Ying DAI Zhi-Min

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract** SSRF is a third generation, 3.5GeV synchrotron light source currently being constructed in Shanghai. The conceptual consideration of its timing system is described in this paper. Different storage ring filling patterns such as single bunch pattern, multi-bunch filling pattern, mixed filling pattern and top-up pattern, demand a highly stable, low jitter timing system with the flexibility to reconfigure on programmable event driven basis. Based on the EPICS control system, the timing system provides digitally programmable sequencing and delay for the electron gun, the linac modulator, the booster and storage ring RF, the pulsed magnets, the instrumentation systems according to different operation pattern requirements.

**Key words** synchronous trigger, events drive, time delay

Received 7 January 2008

\* Supported by National Scientific Project SSRF

1) E-mail: zhangwz@sinap.ac.cn