

在 NSRL 上利用 RFKO 实现部分填充

李为民¹ 周安奇¹ 李永军¹ 李京祎¹ 刘功发¹ 刁操正¹ 于象坤¹ 戴益明² 裴元吉¹

1(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

2(中国科学技术大学电子工程与信息科学系 合肥 230029)

摘要 RFKO 系统在合肥光源电子储存环上的正常运行使合肥光源同步辐射光脉冲的时间结构变为可调,也克服了多束团不稳定现象,实现了高流强(350mA)的运行,为同步辐射用户提供了不同周期的同步光脉冲输出。

关键词 RFKO 系统,部分填充,多束团

中图分类号 O572.21, TL506

中国科学技术大学国家同步辐射实验室电子储存环自调试、运行成功以来,储存束流的强度逐渐提高,但我们已观察到多种类型的束流不稳定现象,包括一种与多束团有关的不稳定性现象^[1]。合肥电子储存环的注入方式为多圈多次注入,全环填充,其束团脉冲间隔为 5ns 且不可调,它所产生的多束团、横向耦合阻抗和离子俘获效应等不稳定性限制了束流的积累,为克服这种对束流强度的限制,我们研制了一套用于储存环部分填充的实验装置即 RF Knock-Out (RFKO) 系统。该系统利用电子在储存环中运动时所具有的横向自由振荡^[2](β -振荡),在外加激励的作用下使部分束团的横向自由振荡运动产生共振而丢失,在 NSRL 电子储存环上成功地实现了部分填充和非均匀填充。它不仅为积累更高流强提供了强有力的手段,同时也为同步辐射用户提供了时间结构可调的同步光。

1 装置原理

为研究束团分布与不稳定的关系,我们建立了一套能实现不同模式填充的装置即高频剔除器 RFKO 装置。其基本原理^[3]是用外加的高频激励的二极场于束团上,使带电粒子横向运动在此高频讯号作用下共振,以达到剔除该带电粒子的目的。在线性近似下,第 i 个粒子的运动方程可以写为^[4]

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} + \nu_i^2 \omega_{ci}^2 x_i + A x_i = -B \bar{x} + G \sin \omega_{rf} t \quad (1)$$

式中, x_i 是第 i 个电子的位置坐标, $\bar{x} = \sum (x_i/n)$ 是束流的质心坐标, ν_i 是第 i 个电子的 β -振荡频率, ω_{ci} 是第 i 个电子的角回旋频率, A/B 表示空间电荷作用, ω_{rf} 是高频剔除讯号频率, G 是高频剔除讯号的幅度(由剔除器输出功率来确定),不考虑质心项,方程(1)的解为

$$x_i = a \cos(\sqrt{\nu_i^2 \omega_{ci}^2 + A} \cdot t + \varphi_0) + \frac{G}{\nu_i^2 \omega_{ci}^2 + A - \omega_{rf}^2} \sin \omega_{rf} t \quad (2)$$

从式(2)不难看出,右边第一项是电子自由 β -振荡项(当 $A=0$),在束流稳定的情况下是一个有限值。而右边第二项是受迫振荡项,当 ω_{rf} 接近 $\sqrt{\nu_i^2 \omega_{ci}^2 + A}$ 时变得很大,我们利用这一项调

节使环中电子的振幅超过真空室尺寸而丢失,达到剔除电子束团的目的。具体方案如图 1 所示。图 1 中, N 是环谐波数 k 的约数, T_c 是电子在环中的回旋周期。

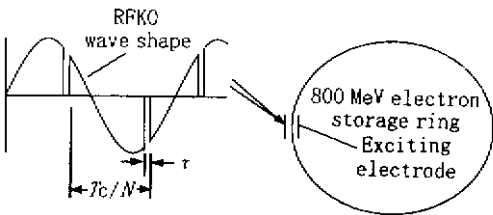


图 1 RFKO 系统工作原理图
Fig.1 Schematic of experiment setup

在 τ 范围内,高频场为零,其余地方存在有频率为 ω_H 的高频场,因此只要此开关脉冲同环中某一个束团是同步的,则在 τ 时间内的束团始终看不到高频场的作用被保留下来,其余时间内的束团受到高频场作用而被剔除掉。调节 τ 的宽度和改变 N 可获得不同模式不同填充束团数的储存束流。

2 实验结果

利用高频剔除系统^[5]在储存环上已实现了单束团、三束团、单串束团、三串束团、五串束团和非均匀填充等多种运行方式 进行了高流强实验和大量的机器物理研究 为同步辐射用户(时间分辨光诺实验站)提供了单束团同步光。

单束团填充的最高流强达 40mA,束流寿命为 60min。束流及激励信号见图 2、3。

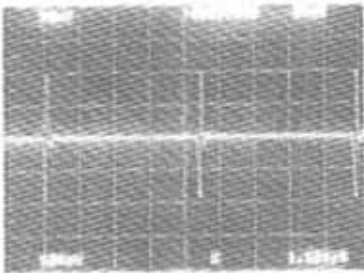


图 2 单束团脉冲信号
Fig.2 Single bunch pulse signal

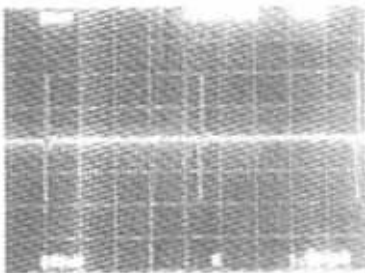


图 3 单束团激励信号
Fig.3 Single bunch exciting signal

三束团填充的束流及激励信号见图 4、5。

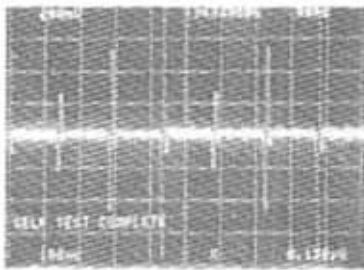


图 4 三束团脉冲信号
Fig.4 Three - bunch pulse signal

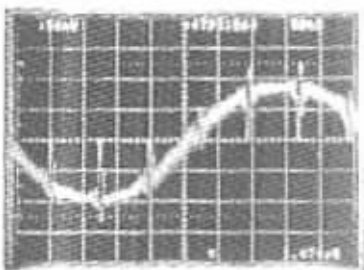


图 5 三束团激励信号
Fig.5 Three - bunch exciting signal

单串束团填充的最大填充束团数可达 28,最高流强达 307mA,束流及激励信号见图 6、7。

三串束团填充的每串最大填充束团数可达 8 个束团,最高流强可达近 100mA,束流及激励信号见图 8、9。

五串束团填充的每串最大填充束团数为 4 个束团,束流信号见图 10。

非均匀填充 在三束团填充方式下非常容易突破束流流强限制,在相同条件下,全环填充常规注入最高流强可达 220mA,采用高频剔除流强即可突破 300mA,注入时间为几分钟,最高流强达到 350mA,其束流信号见图 11。



图 6 单串束团(24 个束团) 信号

Fig. 6 Single - train (24 bunches) signal

图 7 单串填充激励信号

Fig. 7 Single - train exciting signal



图 8 三串(每串 8 个束团) 填充束流信号

Fig. 8 Three - train (8 bunches) beam signal

图 9 三串填充激励信号

Fig. 9 Three - train exciting signal



图 10 五串(每串 4 个束团) 填充束流信号

Fig. 10 Five - train (4 bunches) beam signal

图 11 非均匀填充束流信号 (三串填充方式)

Fig. 11 Non - uniform beam signal (three - train)

3 结语

1995 年 5 月高频剔除系统在 NSRL 电子储存环上成功地进行了单束团注入的调试。此

后,经过几年来大量的机器研究与实验,高频剔除系统逐步得到了完善,这为进一步提高机器束流性能以满足同步辐射用户要求奠定了良好的基础。

致谢 此项工作得到了实验室同仁的大力协作,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 Ruggiero A G. In :Proceedings of 8th international Conference on High Energy Accelerators, 1971. 331
- 2 Yamazaki Y, Izawa M, Katsura T, *et al.* KEK Report KEK 83 - 17, 1983,17
- 3 Weihreter E. Technischer Bericht, BESSY, B125/88, 1988,88
- 4 Kobayakawa H, J J Applied Physics, 1986, **25**(11) 3711
- 5 Kasuga T, Kinoshits T, Hasumoto M, *et al.* Proceedings of the 5th symposium on accelerator science and technology, 1984. 295—296

A study on the partial filling at NSRL

LI Weimin ZHOU Anqi LI Yongjun LI Jingyi LIU Gongfa DIAO Chaozheng
YU Xiangkun DAI Yiming PEI Yuanji

(*National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science
and Technology of China, Hefei 230029*)

Abstract

The structure and principle of a RFKO system was described in this paper. It excited the beam to produce resonant oscillations of electrons in bunches, which were then knocked out, resulting in partial filling and non - uniform filling in the ring. We observed a transverse multi - bunch instability, which could be cured by partial filling. The experimental results of the system were presented.

Key words RFKO, Partial filling, Multi - bunch

CLC O572.21, TL506