

# BEPC II 横向束流反馈系统样机在 BEPC 上的实验

岳军会 马力 曹建社 张磊

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

**摘要** 为了抑制 BEPC II 产生的耦合束团不稳定性, 提高储存环中的流强, 研制了一套逐束团横向束流反馈系统的样机并在 BEPC 上做了实验, 得到了理想的结果. 当束团不稳定时, 频谱仪上可以观察到横向边带, 此时将反馈系统闭环工作于阻尼状态时, 横向边带立即消失. 本文介绍了样机系统的组成、各部分的功能和实验结果.

**关键词** 反馈系统 束流不稳定 抑制

## 1 引言

BEPC II 是一台双环对撞机, 储存环在碰撞运行时每环 99 个束团, 总流强为 0.91A. 由于高频腔中的高次模和电阻壁阻抗的影响, 不可避免会出现耦合束团不稳定性, 从而限制储存环中流强的进一步提高. 为此需要采用逐束团束流反馈系统. 逐束团的束流反馈系统是近十年来新建或改造的大型加速器普遍采用的技术, 如 PEP II<sup>[1]</sup>, KEKB<sup>[2]</sup>, ALS<sup>[3]</sup>, PLS<sup>[4]</sup>,

BESSY II<sup>[5]</sup>, SLS<sup>[6]</sup>, ELETTRA<sup>[6]</sup>等. 逐束团束流反馈系统主要有两种方案, 一种采用的是数字化技术, 以 ELETTRA 为代表, 一种是采用模拟技术, 以 ALS 和 PLS 为代表. 考虑到 BEPC II 的环尺寸较小, 可以使用电缆完成多圈延迟功能, 所以 BEPC II 逐束团横向束流反馈系统采用全模拟系统. 本文介绍了横向束流反馈系统样机的各个组成部分以及实验结果.

样机系统主要包括拾取电极、前端电子学系统、信号处理系统、功率放大器和 kicker 4 个部分, 图 1 所示是横向反馈系统 ( $y$  方向) 的框图.

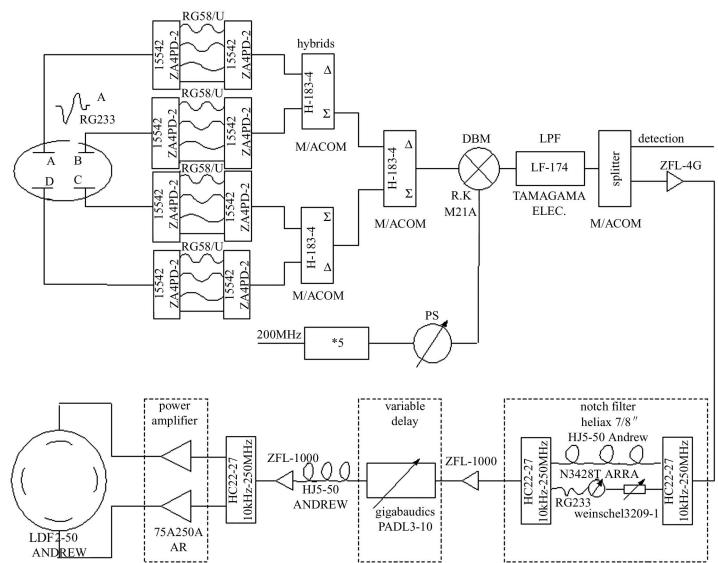


图 1 横向束流反馈系统( $y$ 方向)

## 2 横向反馈系统

样机系统采用一套前端电子学, 所以实验中选择了BPM9作为束流振荡信号拾取电极, 选择用于BEPC工作点(tune)频率测量系统的条形电极作为反馈kicker. 这样拾取电极与kicker之间的相位就是固定的, 并不可调, 根据理论计算在 $y$ 方向, 两者的相位差是 $128^\circ$ , 并不是期望的 $90^\circ$ . 前端电子学用分立元件搭建而成. 采用一个简单的2-Tap梳状滤波器来滤除回旋频率成分, 梳状滤波器的梳状深度达到 $-41\text{dB}$ . 采用电缆来完成两圈延时的粗调, 用一个可编程的延时器来获得延时的细调. 使用两台AR公司的75A250A的放大器来给kicker提供功率.

### 2.1 拾取电极和前端电子学

图2所示是样机系统使用的拾取电极和前端电子学的框图.

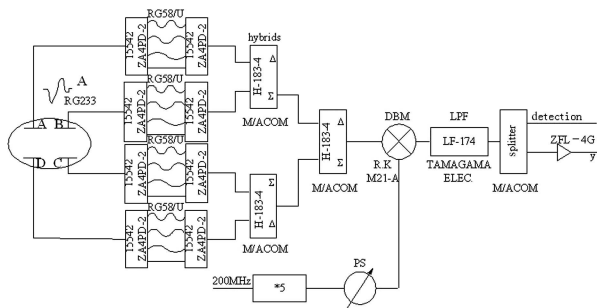


图2 前端电子学框图

前端电子学是用分立元件搭建而成的. 它由有限冲击响应带通滤波器(FIR BPF)、双平衡混频器、倍频器、移相器和低通滤波器组成. FIR BPF由两个功分器和几根不同长度的延迟电缆组成, 相邻的两根电缆延迟时间之差对应于pickup信号的脉冲宽度. FIR BPF的输出连接到一个双平衡混频器, 然后再使用一个低通滤波器, 选出所需要的信号. 双平衡混频器的本振端输入的检测频率是 $1\text{GHz}$ . 为了准确检出信号, 本振信号在输入回路中串接了一个移相器, 可以方便地改变检出频率的相位, 检出最大波形. 图3所示为单束团时前端输出的波形. 图中(a)是pickup信号, (b)是前端输出信号.

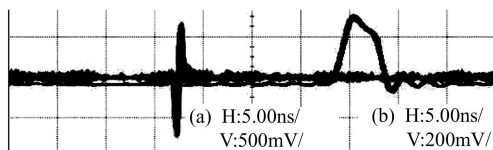


图3 前端电子学的输出波形

### 2.2 信号处理系统

信号处理系统如图4所示, 包括一个梳状滤波器和延时电路. 梳状滤波器由两个hybrid和两根长度不同的电缆组成. hybrid是Tele-Tech公司的HC22-27, 带宽是 $10\text{kHz}-250\text{MHz}$ . 两根电缆延时相差一个束流回旋周期 $802\text{ns}$ , 一般要求短电缆的延迟时间约为长电缆的 $10\%$ <sup>[7]</sup>, 而且短电缆的单位衰减系数要大于长电缆的. 长电缆是Andrew公司的HJ5-50, 短电缆的型号是RG223. 为了能够使得两条传输线的衰减系数和相移一致, 在短电缆一端使用了N3428T型号的移相器和Weinschel 3209-1可编程衰减器. 这样可以方便地对信号幅度和相位进行调节, 以使梳状滤波器的效果达到最佳. 图5给出梳状滤波器在频率范围为 $121.5-126.5\text{MHz}$ 的幅频响应图. 梳状深度达到 $-41\text{dB}$ . 对于两圈的延迟, 粗调选用HJ5-50电缆, 每米延迟 $3.638\text{ns}$ . 细调选用PADL3-10可编程延迟器来实现, 它的调节范围为 $10\text{ps}-12\text{ns}$ .

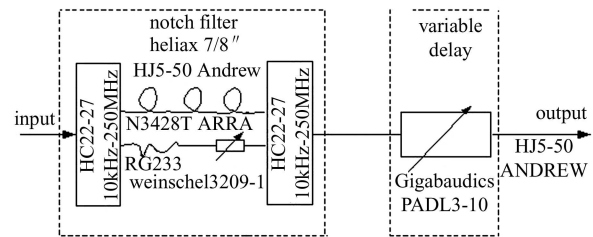


图4 信号处理系统

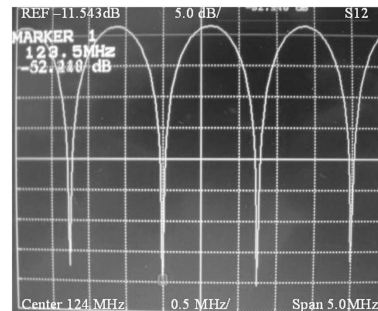


图5 梳状滤波器的幅频响应

### 2.3 功率放大器和kicker

样机系统中采用两台AR公司的75A250A型功率放大器, 以差分形式与kicker相对的两个电极相连接. 75A250A型功率放大器在 $10\text{kHz}-250\text{MHz}$ 的带宽内可以提供不小于 $75\text{W}$  CW功率. 它的最大增益为 $49\text{dB}$ , 可调增益为 $18\text{dB}$ . kicker则是原来用于BEPC储存环上tune测量的条带电极.

### 3 实验结果

横向反馈系统样机工作在垂直方向, 在同步辐射运行模式下进行了多束团实验. 储存环中注入均匀分布的16个束团, 单束团流强2mA, 总流强约32mA, 此

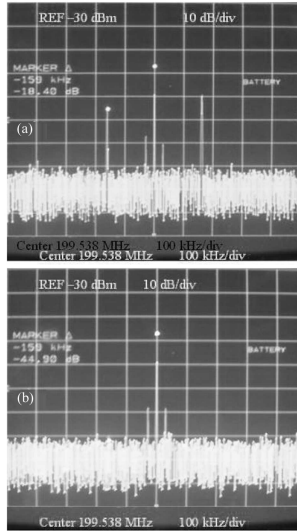


图6 反馈系统开环(a)和闭环(b)

时束团出现不稳定性, 可以在束流频谱上观察到横向边带. 调整整个系统, 改变BPM9处的闭轨, 使之较小, 然后使反馈系统闭环, 可以观察到边带消失. 图6(a)和(b)分别为系统开环和闭环时的束流频谱, 图中中心的谱线是199.538MHz的高频频率, 两边的谱线则是159kHz的垂直振荡频率 $f_y$ , 也就是垂直工作点, 它的出现意味着发生了耦合束团不稳定性, 可以看出反馈系统开环时束流是不稳定的, 而在系统闭环时 $f_y$ 频率消失, 说明束流稳定了, 从而说明反馈系统成功抑制了束流的垂直振荡, 系统工作正常.

### 4 结论

为BEPC II设计的横向反馈系统样机成功地在BEPC上进行了束流实验. 在BEPC储存环运行在总流强32mA的多束团模式时, 束流频谱上出现垂直振荡边带, 此时让反馈系统工作在闭环状态, 束流垂直振荡边带立即消失, 说明系统工作完全正常. 这套样机系统将来可以用于抑制BEPC II储存环的横向束流不稳定性.

### 参考文献(References)

- 1 Barry W, Corlett J, Fahmie M. Status of the PEP-II Transverse Feedback Systems. Proceeding of PAC1997. Vancouver, Canada, 1997. 2344—2346
- 2 Minagawa Y, Kikutani E, Kurokawa S et al. Nucl. Instrum. Methods, 1998, **A416**: 193—209
- 3 Barry W, Byrd J, Corlett J et al. Design of the ALS Transverse Coupled-Bunch Feedback System. Proceeding of PAC1993. Washington D.C., USA, 1993. 2109—2111
- 4 Huang J, Park M, Kim D et al. Nucl. Instrum. Methods, 2001, **A467—468**: 103—105
- 5 Khan S, Knuth T, Barry W et al. Commissioning Results of the Transverse Feedback System at BESSY II. Proceeding of EPAC2000. Vienna, Austria, 2000. 1911—1913
- 6 Dehler M, Schlott V, Bulfone D et al. Current Status of the ELETTRA/SLS Transverse Multibunch Feedback. Proceeding of EPAC2000. Vienna, Austria, 2000. 1894—1896
- 7 Dykes M, Galayda N. Correlator Filters for Feedback at SRS and NSLS. Proceeding of PAC1987. Washington D.C., USA, 1987. 582—583

## Experiments of Transverse Feedback System on the BEPC

YUE Jun-Hui MA Li CAO Jian-She ZHANG Lei  
(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

**Abstract** In order to cure the transverse coupled-bunch instabilities of BEPC II and improve the beam current of the rings, a prototype of transverse bunch-by-bunch feedback system was studied and made. The experiment of this prototype on the BEPC storage ring shows that this system can work well. The beam instabilities can be successfully suppressed when the feedback loop is closed. This paper describes the prototype of the transverse feedback system and the preliminary test results.

**Key words** transverse feedback system, bunch instability, cure