

## Канал контроля положения пучка в сильноточном ЛУЭ

В.Н.Борискин, В.А.Гурин, Л.В.Репринцев, А.Н.Савченко, В.И.Татанов  
ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина

В ХФТИ создан и успешно работает двухсекционный ЛУЭ с длительностью импульса 4 мкс, током в импульсе 500–1000 мА, частотой следования 150(300) Гц и энергией до 30 МэВ. Опыт его эксплуатации показал, что разработанная ранее для односекционного ЛУЭ система контроля и управления [1, 5], включающая в себя два пролетных датчика импульсного тока и устройство защиты от поражения током пучка [2], должна быть дополнена каналом контроля положения пучка. С целью обеспечения безопасной проводки пучка созданы два таких канала, обеспечивающих измерение положение центра тока пучка относительно оси ускорителя с погрешностью  $\pm 0,5$  на входе и выходе второй ускоряющей секции. В данной работе представлены результаты разработки и испытания этого измерительного канала.

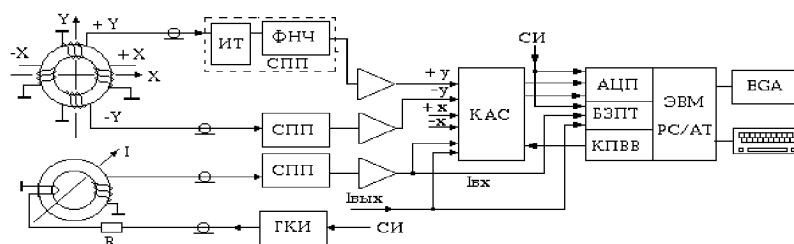


Рис. 1: Структурная схема канала контроля положения и тока пучка сильноточного ЛУЭ. СПП – схема подавления помех; ИТ – разделительный импульсный трансформатор; ФНЧ – фильтр низких частот; КАС – коммутатор аналоговых сигналов; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; БЗПТ – блок защиты по потерям тока пучка; КПВВ – контроллер портов входа-выхода; ГКИ – генератор калиброванных импульсов тока; СИ – синхроимпульс ускорителя.

На рис.1 представлена структурная схема одного канала контроля положения и величины тока пучка. Импульсы с обмоток датчиков, нагруженных непосредственно на линии связи, из бункера ускорителя поступают в пультовую на согласованный вход схем подавления помех (СПП), а затем на масштабирующие усилители ( $K_{ус}=3$ , фронт до 0,1 мкс). Низкочастотная помеха подавляется с помощью трансформатора ИТ с незаземленной первичной обмоткой, а высокочастотная — ФНЧ с частотой среза 2 МГц. С выходов усилителей сигналы поступают на вход коммутатора (КАС) и далее в двухканальный 8-разрядный АЦП с динамическим диапазоном 2 В, буферным ОЗУ 256 байт и тактовой частотой 10 МГц.

Схема датчика положения приведена на рис. 2. Датчик содержит автономные обмотки, сигналы с которых несут информацию как о токе пучка, так и о его положении. В отличие от распространенной схемы с встречно-параллельным включением обмоток (см., например, [3]) использованная нами схема позволяет получить сравнительно большие однополярные сигналы, что упрощает их обработку. Для оценки

горизонтального  $H$  и вертикального  $V$  отклонений центра пучка от оси датчика нами использованы следующие безразмерные функции  $H = (U_1 - U_3)/(U_1 + U_3)$  и  $V = (U_2 - U_4)/(U_2 + U_4)$ . Использование ЭВМ, в принципе, позволяет провести градуировку, если  $H$  и  $V$ , будут функциями от двух переменных — смещений пучка  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Однако является более предпочтительным, когда  $H$  и  $V$  будут линейно зависеть только от одной координаты  $H = S_x \Delta x$ ,  $V = S_y \Delta y$ , где крутизна  $S_x$  и  $S_y$  определяется при калибровке. Это выполняется при условии, что собственное магнитное поле парных обмоток — дипольное [4] благодаря оптимальной конфигурации обмоток и конструкции экрана датчика. На рис. 3, 4а, 4б приведены результаты градуировки датчика. Вычисление смещения пучка по осям  $x$  и  $y$  проводилось по формулам  $\Delta x = a_x H$ ,  $\Delta y = a_y V$ , где  $a_x = 1/S_x$  и  $a_y = 1/S_y$  — градуировочные коэффициенты. В качестве имитатора пучка электронов использовалась струна, по которой пропускаясь импульсы тока амплитудой от 250 до 700 мА.

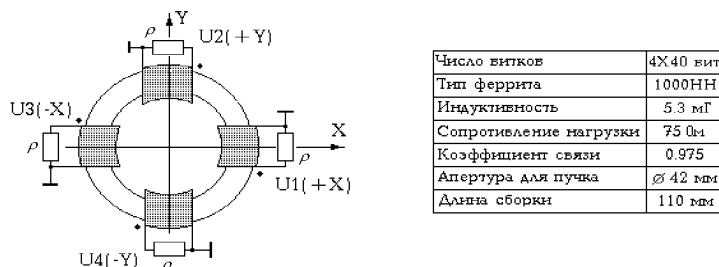


Рис. 2: Схема и основные конструктивные данные датчика положения пучка.  $\rho$  — волновое сопротивление кабельных линий;  $U_1 - U_4$  — напряжения на согласующих нагрузках с учетом связи между обмотками

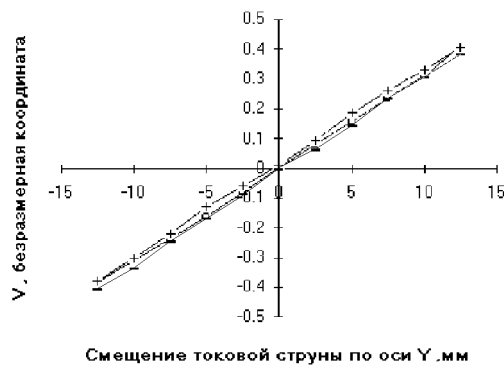


Рис. 3: Зависимость безразмерной координаты  $V = (U_2 - U_4)/(U_2 + U_4)$ , от смещения токовой струны  $\Delta y$  при трех значениях смещения струны по оси  $x$ ,  $\Delta x = 0, \pm 10$  мм и  $I_u = 700$  мА,  $t_u = 4$  мкс. Усредненная крутизна преобразования  $S_y = \frac{\partial V}{\partial y} = 3.2$  мм.

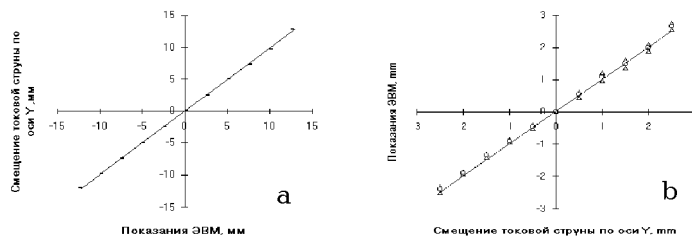


Рис. 4: Градуировочные кривые датчика по координате  $y$  по всей апертуре (а) и вблизи его оси (б) при  $\Delta x = 0$  и  $I_u = 700$  мА,  $t_u = 4$  мкс. Показания ЭВМ  $\Delta y = a_y V$ , где градуировочный коэффициент  $a_y = 1/S_y = 31,3$  мм.

Функция отклонения от оси датчика центра сгустка ускоренных электронов по каждой из координат вычисляется по формуле

$$\Delta a = (a_1 - a_2)/(a_1 + a_2), \quad (1)$$

аргументы которой можно рассматривать как средние значения случайных процессов, характеризующих сигналы с соответствующих обмоток датчика и наведенные в канале помехи от систем ЛУЭ и внешних источников. В нашем случае наблюдаются в основном два типа помех.

Это высокочастотные помехи, которыми промодулирована вершина импульса тока пучка (см. рис. 5а,б) и низкочастотные помехи в основном от питающей сети, которые изменяют амплитуду сигналов от импульса к импульсу. Следует заметить, что кроме ВЧ-помех на форму вершины импульса тока оказывает влияние и пространственно-временная структура пучка, что также видно на рис. 5а. Наблюдаемый на действующем ЛУЭ коэффициент вариации амплитуды импульса тока, определяемый по выборке от 8 до 200 импульсов, как правило, не превышает 3%. Поэтому для уменьшения влияния ВЧ-помех на результаты определения отклонения от оси, аргументы  $a_1$  и  $a_2$  вычисляются как  $a = \sum_1^n a_i$ , где  $a_i$  результаты дискретизации с помощью АЦП импульсов с соответствующих обмоток датчика с шагом 100 нс. Интервал суммирования  $n$  выбирался эмпирически и не превышал половины длительности токовой посылки. Как следует из работы [6], для получения несмещенной оценки среднего значения вычисляемой по формуле (1) случайной функции рекомендуется определять значение функции для каждой пары аргументов, а затем проводить усреднение на всем наблюдаемом интервале (в нашем случае это не менее 8 импульсов). Исходя из вышеизложенного был составлен алгоритм вычисления координат центра пучка. Примеры работы которого приведены на рис. 5а,б. При этом суммарная погрешность работы всего канала не превышает  $\pm 0,5$  мм.

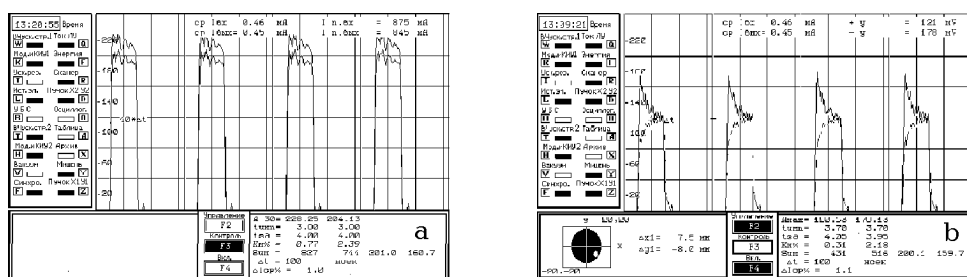


Рис. 5: Видеогаммы результатов контроля тока (а) и положения (б) пучка на экране дисплея оператора ЛУЭ.

## Литература.

- [1] Акчурин Ю.И., Борискин В.Н., Гурин В.А. и др. Тезисы докладов 13-го Харьковского семинара по линейным ускорителям заряженных частиц (Харьков, 25-28 мая 1993 г.), Харьков, 1993, с.38.
- [2] Борискин В.Н., Гурин В.А. Тезисы докладов 13-го Харьковского семинара по линейным ускорителям заряженных частиц (Харьков, 25-28 мая 1993 г.), Харьков, 1993, с.38-39.
- [3] Акчурин Ю.И., Репринцев Л.В., Сиротин В.Н. Вопросы атомной науки и техники. Техника физического эксперимента. Вып.1(3). Харьков, ХФТИ АН УССР, 1979, с.79-81.
- [4] Репринцев Л.В. Вопросы атомной науки и техники. Техника физического эксперимента. Вып.2(4). Харьков, ХФТИ АН УССР, 1979, с.36-37.
- [5] Boriskin V.N., Aizatsky N.I., Akchurin Yu.I. et al. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., A352 (1994), p.61-62
- [6] Ефимов А.Н.,Криворуков Е.В.//Измерения, контроль, автоматизация, №1,1979, с.38-43.