

## СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ИСТОЧНИКОВ ТОКА КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЛИНЗ

*Н. А. Ворошилов<sup>a</sup>, Е. В. Горбачев<sup>a</sup>, Н. И. Лебедев<sup>a</sup>, Д. В. Монахов<sup>a, 1</sup>*

<sup>a</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Для питания корректирующих магнитов ускорителя бустер используются источники тока EVPU PS 140-8. Для питания корректирующих линз коллайдера используются источники тока IT-M3900D-10-170. При работе на малых токах с индуктивной нагрузкой (5 мГн) на выходе этих источников появляются пульсации тока с амплитудой 500 мА, которые мешают настройке орбиты пучка. Для устранения пульсаций тока источников IT-M3900D-10-170 был разработан электронный блок, решающий такие задачи, как подавление пульсаций, смена полярности тока, эвакуация энергии в случае выхода корректирующей магнита из режима сверхпроводимости, аварийное отключение в случае перегрева транзисторных сборок. Для устранения пульсаций тока источников EVPU PS 140-8 было разработано электронное устройство, представляющее собой сборку мощных диодов Шоттки.

EVPU PS 140-8 current sources are used to power the correction magnets of the Booster accelerator. Current sources IT-M3900D-10-170 are used to power the corrective lenses of collider rings. When operating at low currents with an inductive load (5 mH), current pulsations with an amplitude of 500 mA appear at the output of current sources, which interfere with the adjustment of the beam orbit. To solve the problem of current ripples of IT-M3900D-10-170 current sources, an electronic unit has been developed that addresses the tasks, such as current ripple suppression, current polarity reversal, energy evacuation in the event of a corrective magnet leaving superconductivity mode, emergency shutdown in case of overheating of transistor assemblies. To solve the problem of current ripple of EVPU PS 140-8 current sources, an electronic device was developed, which is an assembly of high-power Schottky diodes.

PACS: 84.30.Jc

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ EVPU PS 140-8

Система питания корректоров ускорителя бустер комплекса NICA использует источники тока EVPU PS 140-8 [1], каждый из которых управляется с помощью интерфейса RS-485. При малых токах коррекции (< 1 А) возникают осцилляции с амплитудой 500 мА, которые препятствуют настройке орбиты пучка. Для решения этой проблемы было разработано электронное устройство, представляющее собой сборку мощных диодов Шоттки, обеспечивающее небольшое постоянное напряжение (400 мВ) на

---

<sup>1</sup>E-mail: monahov@jinr.ru



Рис. 1. Электронное устройство подавления пульсаций для EVPU PS 140-8

выходе источников тока (рис. 1). Максимальный постоянный ток для корректирующих магнитов ускорителя бустера составляет 40 А, поэтому для реализации постоянного падения напряжения на выходе источников были выбраны мощные диоды Шоттки — VS-UFB280FA20 с максимальным рабочим током 175 А и напряжением пробоя 200 В. При токе 40 А падение напряжения на этих диодах составляет 1 В, и выделяемая мощность составляет 40 Вт, поэтому для пассивного охлаждения этих диодов был подобран подходящий радиатор — HS 153-30, 30 × 100 × 100 мм, 2,1 дюйм · °C/Vт, обеспечивающий пассивное рассеивание тепла.

В процессе испытаний при максимальном токе 40 А была измерена с помощью тепловизора температура диодной сборки, которая оставалась постоянной ( $830^{\circ}\text{C}$ ) в течение 2 ч. Для крепления диодов к радиатору был разработан комплект медных пластин, позволяющий установить диодную сборку непосредственно на выходы источников PS 140-8 в существующих шкафах (рис. 2). В процессе испытаний при малых токах (< 1 А) осцилляции не наблюдались.

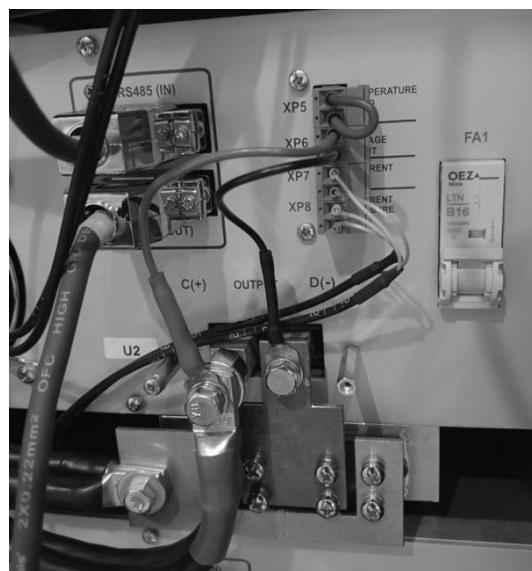


Рис. 2. Диодная сборка VS-UFB280FA20 с радиатором, установленная непосредственно на выходе источника PS 140-8 внутри шкафа управления корректирующими магнитами бустера

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ IT-M3900D-170

Для системы коррекции орбиты накопительных колец коллайдера будут использованы источники тока IT-M3900D-10-170 [2] фирмы iTech, имеющие Ethernet-интерфейс для удаленного управления. В этих источниках при малых токах коррекции ( $< 1 \text{ A}$ ) также возникают осцилляции с амплитудой 400 мА. В отличие от источников PS 140-8 источники IT-M3900D-10-170 будут выдавать в обмотку корректирующих магнитов максимальный ток 150 А и диоды Шоттки будут выделять мощность 150 Вт, что потребует водяного охлаждения. Для решения этой задачи был разработан и протестирован электронный блок (рис. 3, 4), в котором реализовано наличие постоянного

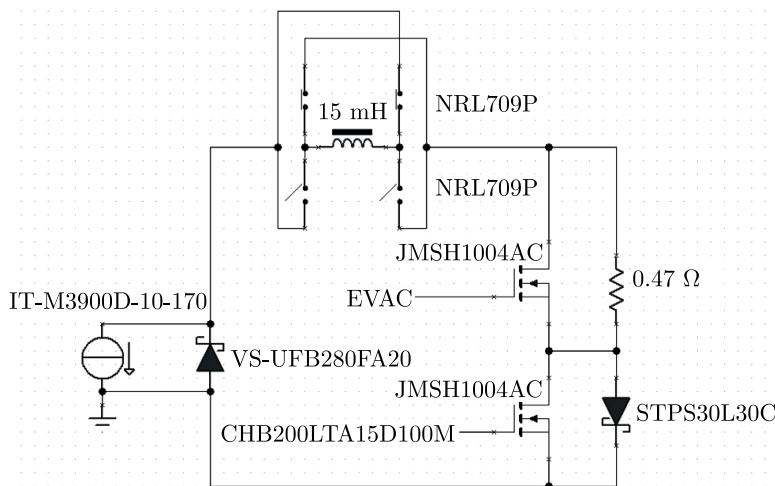


Рис. 3. Функциональная схема электронного блока подавления пульсаций тока для IT-M3900D-10-170

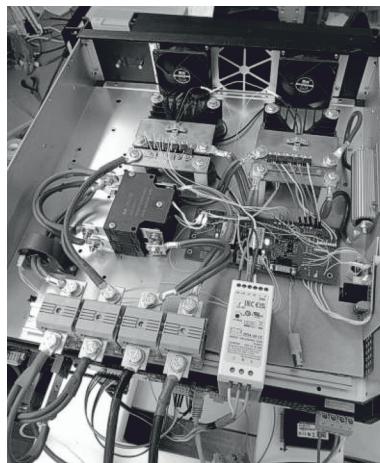


Рис. 4. Прототип блока подавления пульсаций для IT-M3900D-10-170

напряжения (0,5 В) на выходе источника IT-M3900D-10-170 с помощью «линейного» управления затворами транзисторов JMSH1004A (сопротивление  $R_{ds} = 3$  мОм) по сигналу обратной связи от датчика тока CHB200LTA15D100M. Схема управления реализована на операционном усилителе TL072 и представляет собой «неинвертирующий усилитель» с коэффициентом усиления 10, который подает усиленный сигнал от датчика тока на затворы полевых транзисторов. Управление работой электронного блока осуществляется с помощью 8 сигналов цифрового интерфейса источника (разъем P-IO, расположенный на задней панели источника): 1 — статус полярности источника, 2 — сигнал аварийного отключения (появляется, когда напряжение на выходе источника превышает 10 В), 3 — статус источника (ток включен/выключен), 4 — вход для импульса начала цикла, 5 — вход для аварийного сигнала для выключения тока в случае перегрева транзисторных сборок, 6 — строб переключения полярности источника, 7 — выбор полярности источника, 8 — «общая» шина цифрового интерфейса источника (DGND).

Дополнительно в электронном блоке реализованы задачи эвакуации энергии, в случае выхода магнита из сверхпроводящего состояния используется сборка из 5 полевых транзисторов JMSH1004A (рис. 3, сигнал EVAC). Решение проблемы пульсаций тока решена с помощью транзисторной сборки таких же JMSH1004A (рис. 3, сигнал CHB200LTA15D100M) и параллельно подключенного диода Шоттки STPS30L30CT. Переключение полярности осуществляется с помощью двух контакторов NRL709P, которые управляются с помощью драйвера L298N. Сигнал переключения полярности выдается через разъем источника P-IO.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для испытания разработанной электроники был собран стенд (рис. 5, а), в котором к источнику тока была подключена катушка индуктивности 5 мГн (максимальный ток 80 А, стальной сердечник с зазором). Без электронного устройства подавления

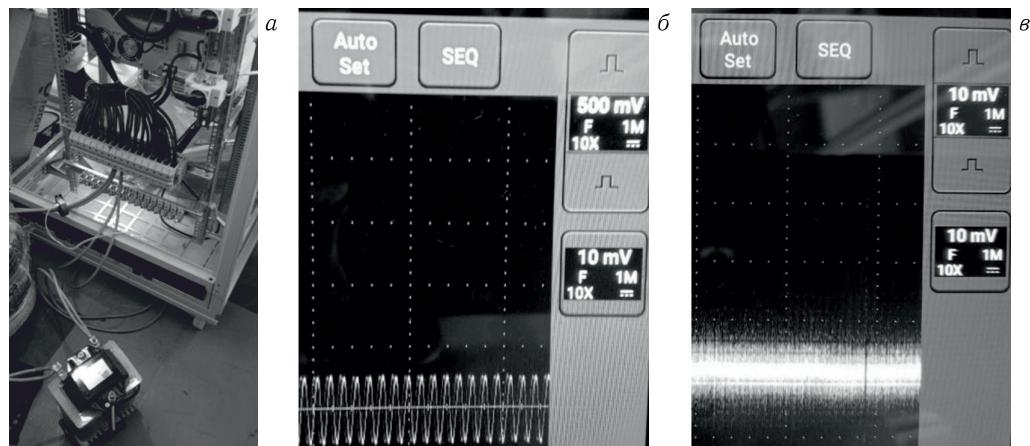


Рис. 5. Результаты испытаний: а) измерительный стенд; б) сигнал от датчика тока без подавления пульсаций; в) сигнал от датчика тока с блоком подавления

пульсаций на выходе источника возникали пульсации тока с амплитудой 500 мА (рис. 5, б). После установки на выход источника тока электронного блока (см. рис. 2) пульсации тока полностью исчезли (рис. 5, в).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kácsor G., Franko M., Buday J., Biel Z., Huddák M., Ilončiak J.* Power Supply Concepts for Particle Accelerators // 2020 ELEKTRO, Taormina, Italy, 2020. P. 1–6; doi: 10.1109/ELEKTRO49696.2020.9130249.
2. <https://www.itechate.com/en/product/dc-power-supply/IT-M3900D>

Получено 28 октября 2024 г.