

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЦКП «СКИФ»

*А. А. Морсин¹, Д. С. Винник, О. В. Беликов, Ш. Р. Сингатулин,
Б. А. Довженко, А. А. Крылов, М. С. Дмитриев*

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

Рассматриваемые в работе источники питания корректирующих электромагнитов используются для коррекции параметров пучка инжекционного комплекса ЦКП «СКИФ». Система питания включает в себя три типа источников: PA-3, MPS-6 и MPS-20 с выходными токами до ± 3 , ± 6 и ± 20 А соответственно. Все источники питания управляются удаленно через каналы Ethernet. Проектирование осуществлялось на основе современных комплектующих по стандарту «Евромеханика».

The power sources are used as part of the charged particle beam orbit correction system of the injection complex of the SRF “SKIF”. The power supplies MPS-20, MPS-6 and PA-3 presented in the paper are capable of supplying electromagnets with a current of up to ± 20 , ± 6 and ± 3 A, respectively. All power sources are remotely monitored and controlled via the Ethernet and are made using modern components according to the Euromechanics standard.

PACS: 84.30.Jc

ВВЕДЕНИЕ

Инжекционный комплекс ЦКП «Сибирский кольцевой источник фотонов» («СКИФ») включает в себя линейный ускоритель инжектора (линак), бустерный накопитель (бустер) и каналы транспортировки пучка [1]. Коррекция параметров пучка осуществляется корректирующими электромагнитами, требующими индивидуального питания. Типы магнитов представлены в табл. 1.

Требуемым параметрам питания удовлетворяют источники постоянного тока PA-3 (Power Amplifier), MPS-6 и MPS-20 (Magnet Power Supply), разработанные Институтом ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН.

¹E-mail: A.A.Morsin@inp.nsk.su

Таблица 1. Типы магнитов и требуемые параметры питания

| Тип магнита | Количество | Максимальный ток питания, А | Максимальное напряжение питания, В |
|-------------------------|------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Линак | | | |
| Корректор СК | 8 | ± 3 | 10 |
| Соленоид группировки | 5 | 5 | 10 |
| Соленоид согласующий | 1 | 5 | 10 |
| Корректор CL | 6 | 6 | 2 |
| Квадруполь QL (тип 1) | 5 | 6 | 2 |
| Квадруполь QL (тип 2) | 2 | 15 | 5 |
| Канал линак-бустер | | | |
| Диполь | 4 | 20 | 15 |
| Корректор CX1 | 4 | 6 | 24 |
| Корректор CY | 3 | 6 | 24 |
| Бустер | | | |
| Секступоль | 16 | ± 6 | 60 |
| Корректор CX | 12 | ± 5 | 8 |
| Корректор CY | 16 | ± 5 | 8 |
| Корректор CX1 | 8 | ± 5 | 8 |
| Канал бустер-синхротрон | | | |
| Корректор CX1 | 11 | 6 | 9 |
| Корректор CY | 11 | 6 | 9 |

1. СТРУКТУРА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В табл. 2 приведены основные параметры источников.

Все крайты источников питания выполнены по стандарту «Евромеханика» (производства «Schroff»). Крайты MPS-6 и PA-3 являются 8-канальными (типоразмер 6U), управление всеми источниками осуществляется с помощью внешних контроллеров. MPS-20 является одноканальным источником тока с индивидуальным встроенным

Таблица 2. Параметры источников питания

| Параметр | Значение | | |
|---|----------------|----------------|-----------------|
| | PA-3 | MPS-6 | MPS-20 |
| Диапазон выходного тока, А | [-3; 3] | [-6; 6] | [-20; 20] |
| Максимальное выходное напряжение, В | 24 | 24 или 60 | 50 |
| Погрешность выходного тока (на амплитудном значении), ppm А | ≤ 500 | ≤ 500 | ≤ 100 |
| Стабильность выходного тока (в течение 24 ч), ppm А | ≤ 100 | ≤ 100 | ≤ 100 |
| Температурный коэффициент дрейфа тока, ppm 1/К | 40 | 40 | 40 |
| Частота преобразования, кГц | 100 | 60 | 50 |
| Размеры, мм | 51 × 227 × 266 | 51 × 227 × 266 | 432 × 355 × 133 |

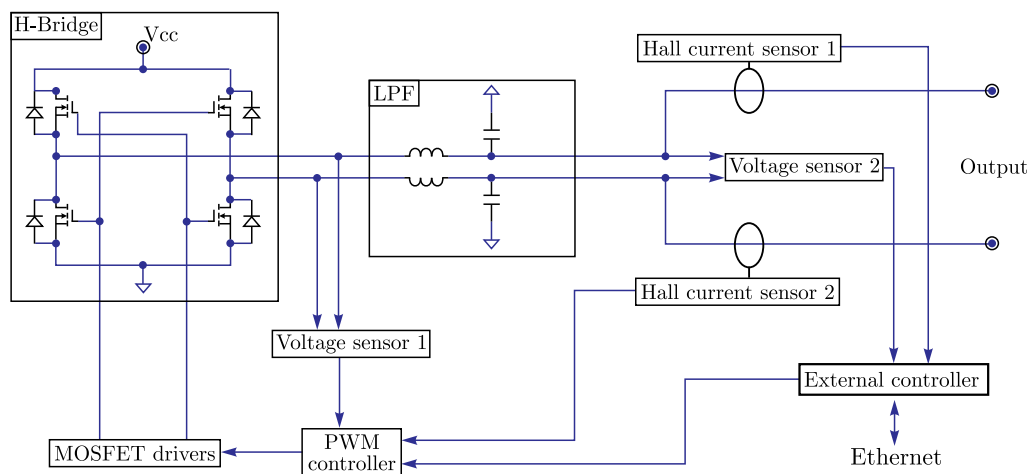


Рис. 1. Блок-схема источников питания постоянного тока для инжекционного комплекса ЦКП «СКИФ»: Vcc — напряжение буферного питания; H-Bridge — H-мост; LPF — фильтр нижних частот; Hall Current Sensor — компенсационный датчик тока на элементе Холла; Voltage sensor — датчик напряжения; External controller — внешний контроллер; PWM controller — контроллер ШИМ; MOSFET drivers — драйверы управления затворами МОП-транзисторов

контроллером. Динамический диапазон выходного напряжения MPS-6 опционален (24 или 60 В) и определяется буферным источником питания крейта. Также в зависимости от выходного напряжения различаются режимы сброса накопленной энергии магнита. Все источники питания корректирующих электромагнитов размещаются в шкафу типа Varistar (размером 600 × 800 × 2000 мм) производства «Schroff».

На рис. 1 представлена блок-схема источников питания. Схема управления включает в себя контроллер широтно-импульсной модуляции (в который входят усилитель сигнала ошибки, генератор пилообразного напряжения и компаратор) и датчики напряжения. Выходной ток определяется широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения моста, выполненного на транзисторных ключах. Фильтр нижних частот подавляет основную частоту H-моста и ее гармоники. Два бесконтактных датчика Холла независимо друг от друга измеряют выходной ток: один датчик используется для регулирования тока, другой — для системы мониторинга. Данные о токе передаются во внешний контроллер управления, он же задает величину выходного тока.

2. ИСПЫТАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Прототипы источников питания проходили испытания на специализированных стендах, где измерялась стабильность выходных параметров. На рис. 2 показан спектр шумов выходного сигнала у источников питания MPS в диапазоне частоты от 1 до 1000 Гц. Наибольший уровень шума (55 ppm А у MPS-6 и 47 ppm А у MPS-20) достигается на половине выходного уровня тока, при этом даже эти величины соответствуют заявленному требованию погрешности выходного тока (см. табл. 1).

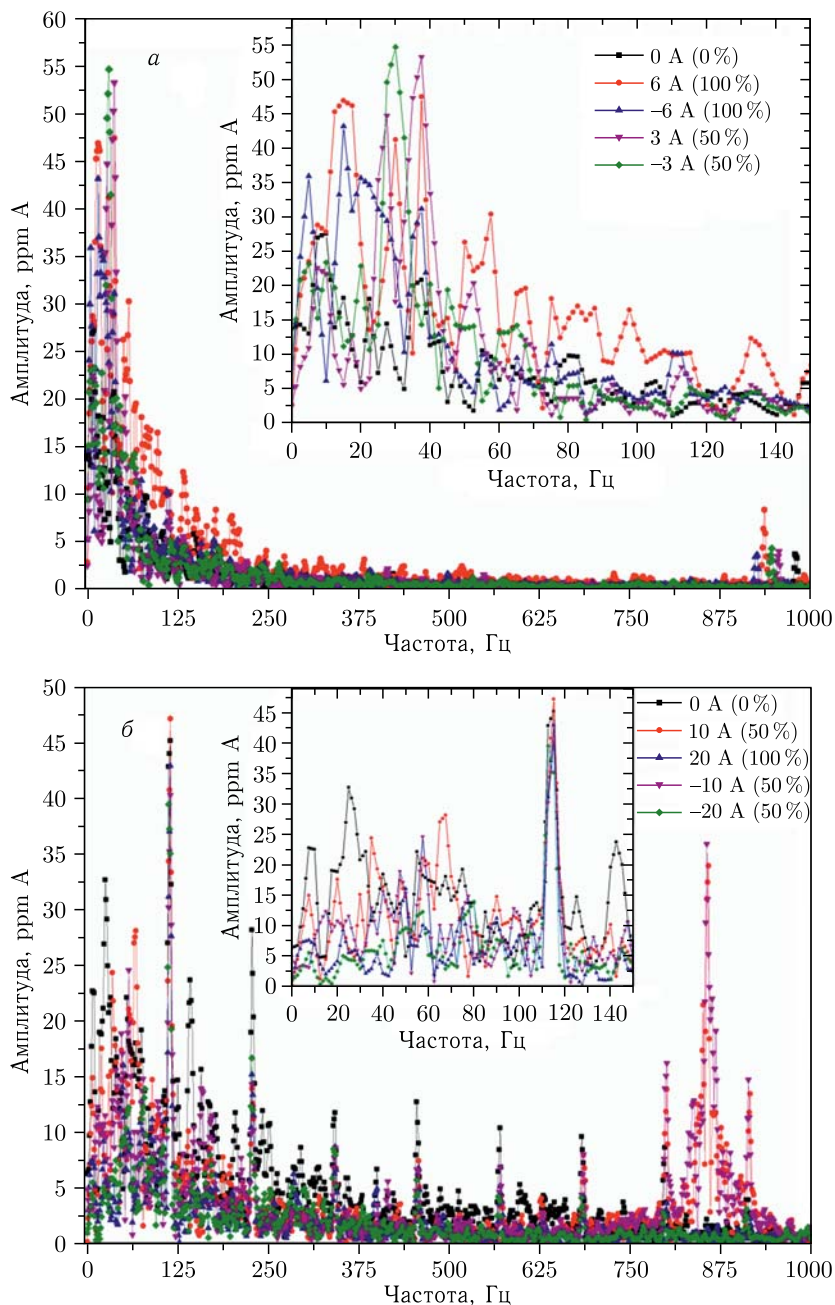


Рис. 2. Спектр шумов источников питания MPS-6 (а) и MPS-20 (б) при различном уровне выходного тока

На рис. 3 приведен разброс максимального значения выходного тока источников MPS в течение 24 ч. Стандартное отклонение соответствует заявленным требова-

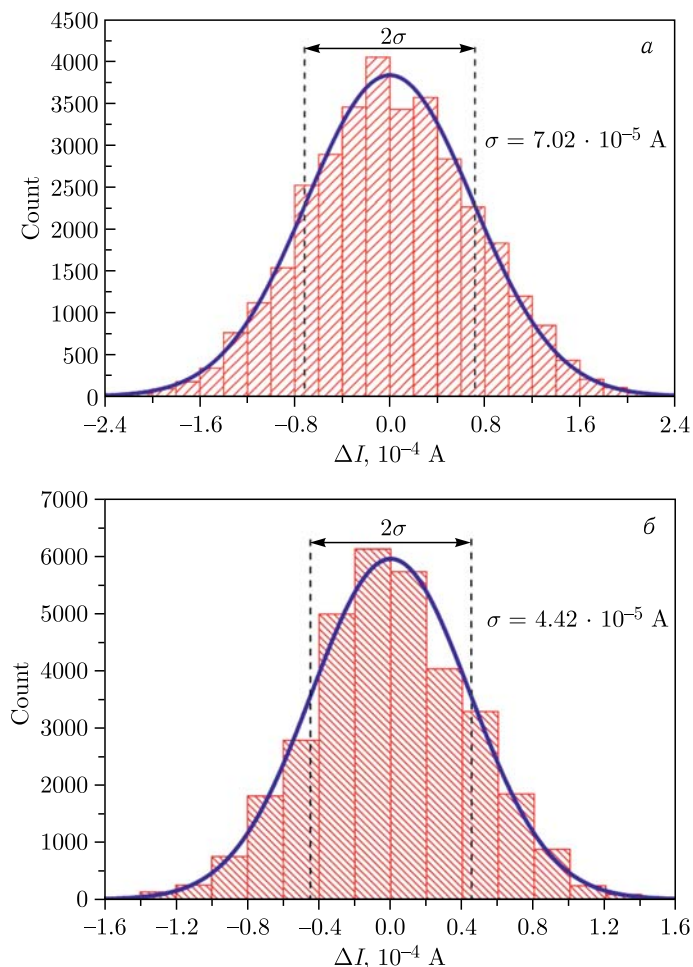


Рис. 3. Стабильность выходного тока источников питания MPS-6 (а) и MPS-20 (б) за 24 ч. По горизонтальной оси отложено отклонение тока от заданной величины, по вертикальной — количество зарегистрированных событий

ниям стабильности (см. табл.1), обе гистограммы имеют выраженное нормальное распределение, более 95 % событий укладываются в удвоенное среднеквадратичное отклонение.

Все измерения проводились внешним прецизионным бесконтактным датчиком тока (погрешность выходного сигнала $\leq 10^{-6}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время произведено необходимое количество источников для питания корректирующих электромагнитов инжекционного комплекса. Все эти источники питания прошли наладку и лабораторные испытания и находятся на ответственном хранении в ожидании работы с пучком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуров С. М., Волков В. Н., Золотарев К. В., Левичев А. Е. Инжекционная система для сибирского кольцевого источника фотонов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исслед. 2020. № 7. С. 3–7.
2. Belikov O. V., Bryzgunov M. I., Kozak V. R., Parkhomchuk V. V., Reva V. B., Vinnik D. S. Power Supplies for Correctors of the 2.5 MeV Electron Cooling System for the Collider “NICA” // 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL’2019). 2019. P. 102–104.
3. Velikanov Yu. M., Veremeenko V. F., Vinokurov N. A., Galt A. A., Dovzhenko B. A., Kozak V. R., Kuper E. A., Medvedev L. E., Medvedko A. S., Serednyakov S. S. Control System for Magnet Power Supplies for Novosibirsk Free Electron Laser // Proc. of the 13th Intern. Conf. on Accel. and Large Exp. Phys. Control Systems. 2011. P. 480–482.

Получено 18 ноября 2022 г.