

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ МАГНИТОВ СОВРЕМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

О. В. Беликов¹, В. Р. Козак

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

В настоящее время в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера (ИЯФ) проектируются две ускорительные установки класса мегасайенс [1, 2], на которых планируется использовать двухполярные источники питания корректирующих магнитов с максимальными выходными токами 6 и 12 А в диапазоне значений напряжения до 100 В. Одни и те же источники питания планируется использовать для медленной коррекции орбиты и для быстрой обратной связи по орбите. Поэтому требуется обеспечить высокую стабильность выходного тока (допустимые отклонения не более 0,01 %) и достаточную полосу пропускания (не менее 1 кГц). Для удобства эксплуатации систем питания необходимо обеспечить быструю взаимозаменяемость источников питания в пределах одного типа.

Budker Institute of Nuclear Physics has been designing two accelerator facilities of mega science class [1, 2]. It is planned to use the same bipolar power supplies for corrector magnets in both projects. These power supplies must provide output currents 6 and 12 A and output voltage up to 100 V. The identical power supplies will be used both for the slow orbit correction and for fast orbit feedback. As a result the power supplies must provide high stability of output current (at least 0.01%) and adequate bandwidth (at least 1 kHz). The project must provide the fast replacing of failed power supply.

PACS: 29.20.Ej

ВВЕДЕНИЕ

Подобные источники питания разработки ИЯФ успешно работают на различных ускорительных установках. Наиболее подходящим по параметрам является семейство прецизионных источников питания, разработанных для Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (XFEL) [3]. Эти источники питания обладают избыточными для данной задачи точностными характеристиками (относительная нестабильность выходного тока менее 10^{-5} за 24 ч), и они сделаны в одноканальном исполнении, что удорожает систему питания и усложняет ее эксплуатацию: в случае неисправности приходится менять модуль целиком. Более удобными в эксплуатации являются многоканальные четырехквадратные источники питания MPS-6 [4], но

¹E-mail: O.V.Belikov@inp.nsk.su

Основные параметры источников питания MPS-6A и MPS-12A

Параметр	Значение	
	MPS-6A	MPS-12A
Диапазон регулирования выходного тока, А	-6-6	-12-12
Минимальный шаг задания тока, мкА	23	46
Максимальное выходное напряжение, В	± 100	± 100
Температурный коэффициент дрейфа выходного тока, $1/^\circ\text{C}$	$5 \cdot 10^{-6}$	
Максимальный дрейф выходного тока при $t = \text{const}$	$< 10^{-4}$	
Относительная погрешность выходного тока (от максимального значения)	$< 10^{-4}$	
Среднеквадратичное значение пульсаций выходного напряжения	$< 10^{-3}$	
Среднеквадратичное значение пульсаций выходного тока (на индуктивной нагрузке)	$< 10^{-4}$	
Коэффициент полезного действия, %	> 95	
Охлаждение	Естественное воздушное	

погрешность регулирования выходного тока у них составляет 0,1 %, и этого недостаточно. Поэтому для новых задач целесообразна разработка новой серии источников питания корректирующих магнитов MPS-6A и MPS-12A. Параметры новых источников питания приведены в таблице.

1. СТРУКТУРА

Для удобства эксплуатации за основу выбрана структура, состоящая из многоканального модуля (рис. 1). В состав модуля входят от 1 до 8 одноканальных источников питания MPS, выполненных в виде преобразователей постоянного буферного напряжения в ток, питающий обмотки корректирующих магнитов. Все преобразователи MPS в пределах модуля запитаны от одного источника буферного питания BPS, который определяет максимальное выходное напряжение. Такая структура, успешно работающая в серии источников питания MPS-6, имеет преимущества. Во-первых, мы экономим мощность BPS, так как все источники питания корректирующих магнитов в пределах одного модуля, как правило, одновременно не работают на максимальных мощностях. Во-вторых, использование одного общего источника питания вместо нескольких индивидуальных увеличивает время наработки на отказ модульной системы. Контроль и управление источниками питания MPS в пределах модуля выполнено по CANbus. В состав модуля входит также контроллер CPS, который обеспечивает подключение источников к Ethernet, а также реализует дополнительный функционал высокого уровня.

Структурная схема источника питания MPS представлена на рис. 2. Выходной ток регулируется широтно-импульсной модуляцией напряжения буферного питания.

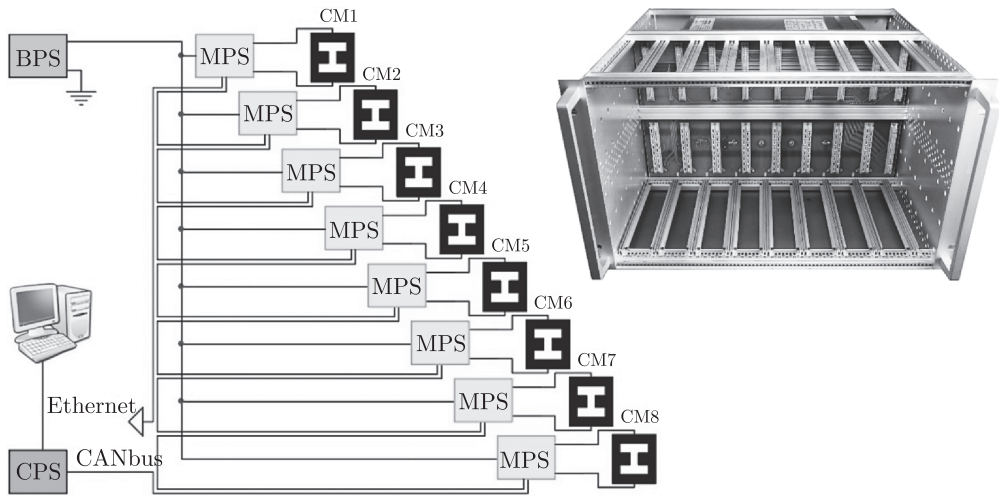


Рис. 1. Модуль системы питания: слева — структурная схема, справа — внешний вид. BPS — источник буферного питания; MPS — источник питания магнита; CM — корректирующий магнит; CPS — контроллер источников питания

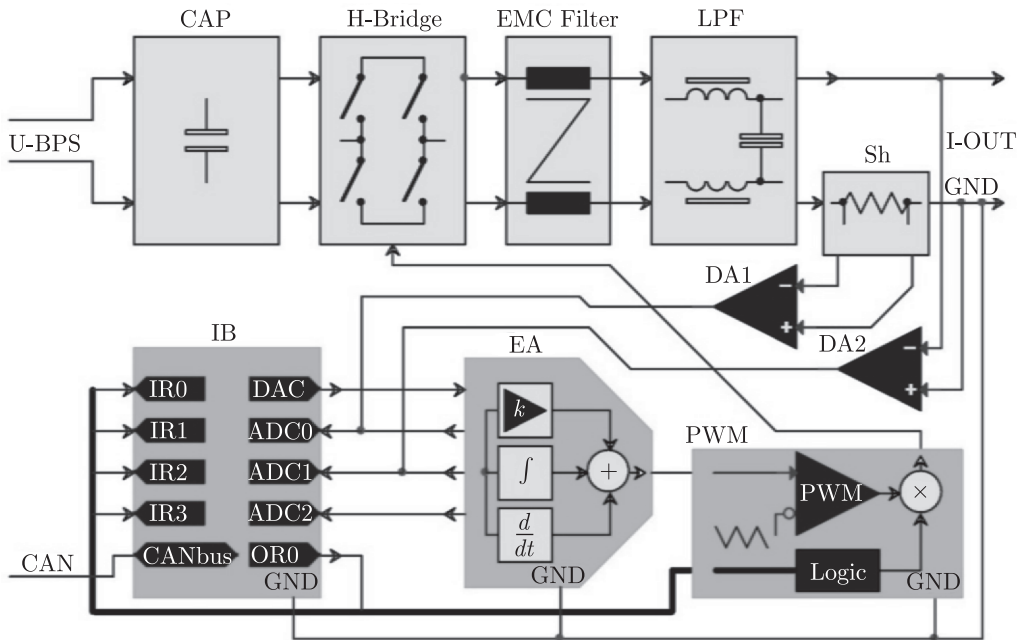


Рис. 2. Структурная схема источников питания MPS. CAP — емкость; H-Bridge — мостовой инвертор; EMC Filter — фильтр электромагнитных помех; LPF — фильтр низких частот; Sh — прецизионный измерительный шунт; DA — дифференциальный усилитель; IB — интерфейсная плата; EA — усилитель сигнала ошибки; PWM — формирователь широтно-импульсно модулированного сигнала

На выходе мостового инвертора имеются два фильтра: первый предназначен для подавления электромагнитных помех от фронтов полевых транзисторов, второй — для подавления несущей частоты 50 кГц. В петле обратной связи используется прецизионный шунт, по которому регулируется выходной ток. При этом контур обратной связи и цепи управления источником питания гальванически привязаны к одному из выходов источника питания. Это позволяет нам не использовать устройства гальванической развязки аналоговых сигналов, которые вносят дополнительную ошибку в регулирование.

Каждый источник питания MPS в своем составе имеет интерфейсную плату с CAN-шиной. Интерфейсная плата содержит 18-разрядный ЦАП для задания тока, четырехканальный 24-разрядный АЦП, 4-разрядные регистры ввода/вывода, а также последовательный порт RS-232 для возможности подключения цифрового индикатора. Аналоговая часть интерфейсной платы также привязана к выходу источника питания, а гальваническая развязка с модулем питания выполнена по шине передачи данных.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИСПЫТАНИЯ

Изготовлены первые опытные образцы источников питания MPS-6A и MPS-12A. Источники питания (рис. 3) выполнены в виде модульных вставок конструктива «Евромеханика» с габаритными размерами 51 × 227 × 266 мм (MPS-6A) и 102 × 227 × 266 мм (MPS-12A). Модулем питания является крейт 6U-subunit (432 × 415 × 266 мм). В один крейт устанавливается до 8 шт. источников питания MPS-6A или до 4 шт. источников питания MPS-12A. Конструктивно предусмотрена установка в один крейт разных типов источников питания. При этом контроллер CPS способен распознавать тип источников питания.

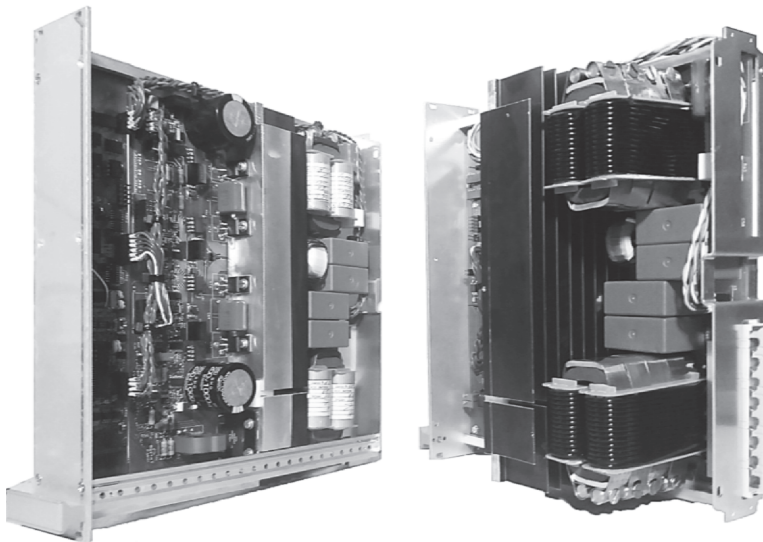


Рис. 3. Внешний вид источников питания: слева — MPS-6A, справа — MPS-12A

Лабораторные испытания показали соответствие прототипов источников питания требуемым параметрам. В процессе испытаний были измерены следующие параметры:

- дисперсия выходного тока — $1,5 \cdot 10^{-5}$ за 60 ч работы при постоянной температуре;
- температурный дрейф выходного тока — $5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С в диапазоне 40–70 °С;
- пульсации выходного тока — $1,7 \cdot 10^{-5}$, среднееквадратичное значение в диапазоне частот 1 Гц – 1 кГц (на индуктивной нагрузке).

Далее планируется изготовить небольшую партию источников питания для работы на ускорительных комплексах ИЯФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Piminov P.* Project for a Super Charm-Tau Factory at BINP // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2018. V. 15, No. 7. P. 732–736.
2. *Ракшун Я.В.* Организационный статус проекта ЦКП «СКИФ» // Всерос. мультikonф. с междунар. участием «Биотехнология — медицине будущего», Новосибирск, Россия, 29 июня – 2 июля 2019 г. С. 133.
3. *Belikov O. V., Kozak V. R.* A Family of Precision Power Supplies for Corrector Magnets of the European X-Ray Free-Electron Laser // *Instr. Exp. Techn.* 2018. V. 61, No. 5. P. 707–712.
4. *Belikov O., Kozak V., Medvedko A.* Four-Quadrant Power Supplies for Steering Electromagnets for Electron-Positron Colliders // *Proc. of XXI Russ. Particle Accelerator Conf. (RuPAC'08)*, Zvenigorod, Russia, Sept. – Oct. 2008. WEBAU03. P. 244–246.