

**АНАЛИЗ СТРУКТУР И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ VME-64 CAEN ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРОМ SPD ПРОЕКТА NICA**

**С. Н. Кухаренко¹, Ю. В. Крышнев¹, В. В. Терещенко², А. Е. Запольский¹,
М. М. Белка¹**

*¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*²Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна, Российская Федерация*

Представлены результаты работы по анализу варианта электропитания системы управления детектором SPD проекта NICA при помощи преобразователя CAEN VME-64, изучению ключевых особенностей организации подобных систем. Проведен анализ структуры и схемотехники преобразователя.

Ключевые слова: система управления детектором, SPD, NICA, VME-64, система питания, электромагнитная совместимость, энергетическая эффективность.

ANALYSIS OF STRUCTURES AND CIRCUIT DESIGN SOLUTIONS OF THE VME-64 CAEN CONVERTER FOR THE POWER SUPPLY OF THE NICA SPD DETECTOR CONTROL SYSTEM

S. M. Kukharenska¹, Y. V. Kryshneu¹, V. V. Tereshchenko², A. Y. Zapolski^{1,6}
M. M. Belka¹

¹*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

²*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russian Federation*

The results of the analysis of the power supply option of the SPD detector control system of the NICA project using the CAEN VME-64 converter are presented, and the key design features of such systems are studied. The structure and circuitry of the converter are analyzed.

Keywords: detector control system, SPD, NICA, VME-64, power supply system, electromagnetic compatibility, energy efficiency.

Система управления детектором SPD (Spin Physics Detector) ускорительного комплекса NICA (Nuclotron based Ion Collider Facility) выполняет сбор, регистрацию и обработку сигналов с первичных датчиков, а также управление исполнительными механизмами. По своей структуре она представляет собой линейную макросистему управления с последовательным включением:

- первичных измерительных преобразователей, схем аналого-цифровой обработки и регистрации сигналов (измерительный тракт);
- контроллеров, формирователей, актуаторов (управляющий тракт), а также интерфейсных систем.

На суммарное потребление системы определяющее влияние оказывает необходимость обслуживания большого количества каналов. Предполагается реализация 70 каналов, которые будут работать в параллельном режиме, потребляя, по предварительным расчетам, от 1,6 до 2 кВт каждый.

Данный факт, совместно с высокой плотностью монтажа, приводит к необходимости оптимизации системы электропитания по коэффициенту полезного действия. Структурная схема, описывающая систему электропитания SPD, показана на рис. 1.

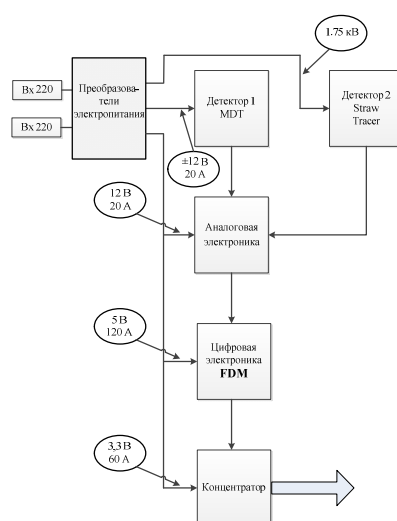


Рис. 1. Структурная схема системы электропитания SPD

При разработке устройства электропитания системы одним из определяющих факторов является проработка вопросов электромагнитной совместимости. Наличие электромагнитных помех оказывает негативное влияние на корректную работу элементов системы (аналоговая электроника, включая высокочувствительные датчики и аналого-цифровые преобразователи – АЦП). При этом решение данной проблемы невозможно без проведения экспериментальных измерений [1, 2].

Для разработки источника питания были проанализированы технические решения от различных производителей, включая преобразователь CAEN VME-64, структурная схема которого показана на рис. 2.

Сетевое напряжение поступает на вход выпрямителя и регулятора коэффициента мощности (рис. 3), который ликвидирует нелинейные искажения потребляемого из сети тока, а также содержит фильтр кондуктивных помех. Входной выпрямитель необходим для повышения и стабилизации напряжения на уровне 400 В. Так как он не имеет гальванической развязки с электрической сетью, то эту функцию выполняют последующие каналы преобразователя напряжения со стабилизированными выходными параметрами.

Функционально каналы преобразователей выполнены по схеме однотактного «прямоходового» преобразователя с прямым включением диода. Частота ШИМ модуляции, используемая в преобразователе CAEN, находится в пределах 40–60 кГц. Частота ограничена свойствами используемых компонентов и топологическими решениями.

В сетевом выпрямителе (рис. 3) сетевое напряжение поступает на фильтр кондуктивных помех, поступающих в электрическую сеть, с типовой частотной характеристикой, который снижает их уровень и воздействие на чувствительные элементы SPD. В преобразователе CAEN использован четырехзвенный фильтр, поэтому в типовом его исполнении следует ожидать подавления помех на уровне 80–90 дБ. Для реализации выпрямителя используется мостовая схема. Сервисный источник небольшой мощности с гальванической развязкой от сети предназначен для питания схемы управления и схемы связи с управляющим блоком. Схема управления выполнена с применением типового решения на микросхеме UC2823 (аналог 1156EY3). Дополнительно в схеме управления осуществляется контроль температуры теплоотвода, значение сопротивления терморезистора поступает в управляющий блок.

Выходной емкостный фильтр предназначен для сглаживания пульсаций выходного напряжения, реализованный включением четырех конденсаторов 470 мкФ параллельно.

Функциональная схема одного канала стабилизатора напряжения приведена на рис. 4. Входной емкостный фильтр 470 мкФ подключен к выходной шине выпрямителя с напряжением 400 В. При включении четырех каналов параллельно создается суммарная с выпрямителем емкость фильтра 4000 мкФ, необходимая для компенсации провалов и скачков напряжений в питающей сети. Однако такое значение буферной емкости требует принятия мер по устранению импульсных токов. Такие мероприятия в системе электропитания CAEN не выполнены и, соответственно, это обстоятельство приводит к заменам входных выпрямительных мостов (было выявлено по результатам осмотра). Сервисный источник гальванически развязан с сетью 400 В. Выходное напряжение этого источника гальванически связано с выходным стабилизированным 3,3 В, что существенно упрощает схему диагностики и управления преобразователем. Управление силовыми ключами инвертора реализовано через импульсный трансформатор управления, тем самым обеспечена гальваническая развязка между схемой управления и выходной цепью. Выходной фильтр пульсаций состоит из параллельно включенных электролитических конденсаторов общей ем-

кость 48000 мкФ. Такая емкость потребовалась для обеспечения уровня пульсаций выходного напряжения на уровне 5 мВ. Помимо емкости выходной фильтр содержит фильтр синфазной составляющей помех в виде ферритового кольца из материала ТЗ8.

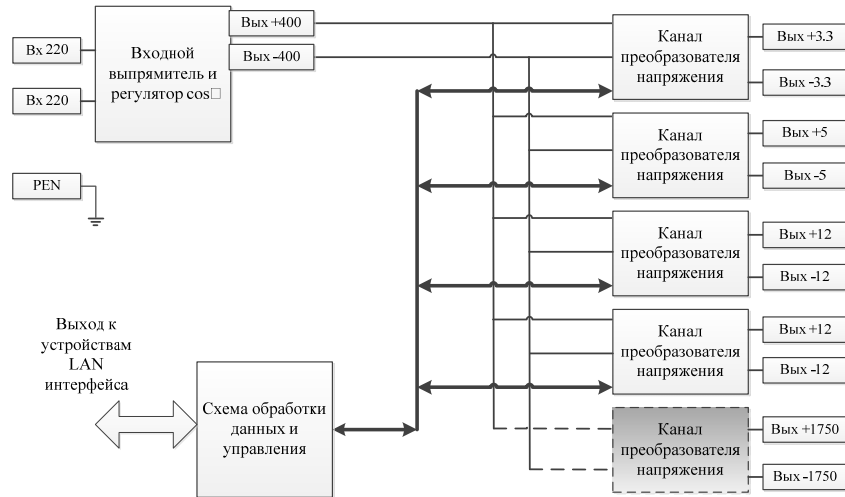


Рис. 2. Структурная схема системы электропитания VME-64 CAEN (канал, выделенный пунктирной линией, указывает на возможность наращивания дополнительных стабилизаторов)

Схема управления инвертором содержит 4-канальный 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь, один канал которого использован для управления выходным напряжением (алгоритм управления неизвестен). Весьма вероятно, что схема управления и обработки данных (рис. 2) корректирует значения выходного напряжения стабилизаторов с целью компенсации потерь напряжения на соединительных проводах. Также управление выходным напряжением может использоваться для формирования алгоритмов плавного запуска и алгоритма последовательного включения (это два очень важных момента в реализации систем питания).



Рис. 3. Функциональная схема выпрямителя с регулятором коэффициента мощности

Необходимо отметить, что структура, показанная на рис. 2, содержит значительное количество узлов с высоковольтными (не менее 600 В) силовыми полупроводниковыми приборами, которые имеют значительно большую энергию переключения и более высокую стоимость (в два и более раз) в сопоставлении с низковольтными. Динамические потери (потери на переключение) ограничивают рабочую частоту преобразователя и увеличивают объемы теплоотводящих конструкций. Типовыми частотами преобразователей рассматриваемой мощности являются 60–120 кГц. Известно, что объем реактивных компонентов, применяемых в фильтрах пульсаций, обратно пропорционален квадрату частоты работы ШИМ. Следовательно, структура, показанная на рис. 2, может быть признана неэффективной по энергетическим и экономическим соображениям.

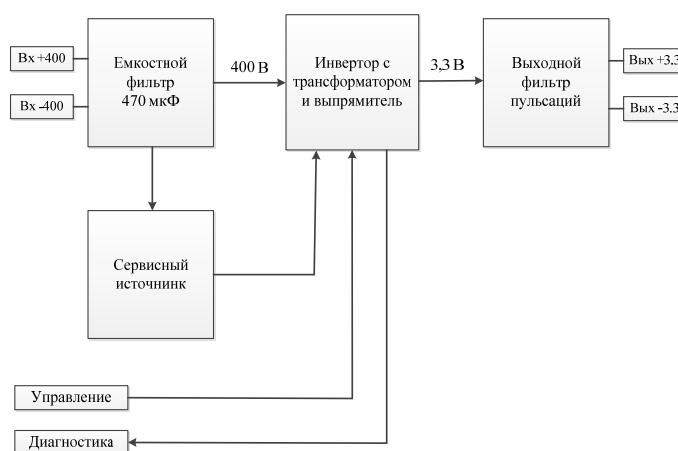


Рис. 4. Функциональная схема одного канала стабилизатора напряжения

В техническом решении VME-64 производителя CAEN один общий фильтр кондуктивных помех, выпрямитель и регулятор коэффициента мощности используются для подключения группы гальванически развязанных преобразователей. Каждый из этих преобразователей преобразует высокое напряжение (около 400 В) в конкретное напряжение низкого уровня и имеет отдельный канал настройки и диагностики.

Таким образом, проведенный анализ преобразователя VME-64 показывает, что для возможности использования в системе управления детектором SPD проекта NICA его отдельные узлы нуждаются в функциональном совершенствовании.

Л и т е р а т у р а

1. Technical Design Report of the Spin Physics Detector (For the SPD collaboration) / JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH. – February 6, 2024. – Version 2.00. – 349 p.
2. V. M. Abazov, V. Abramov, L. G. Afanasyev [et al.]. Conceptual design of the Spin Physics Detector. 1 2021, 2102.00442.
3. CAEN. Tools for Discovery. Nuclear. Products Catalog, 2007. – 114 p. (Application Note).
4. Кухаренко, С. Н. Фильтр кондуктивных помех / С. Н. Кухаренко, Ю. Е. Котова, Ю. А. Козусев // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 170–171.