



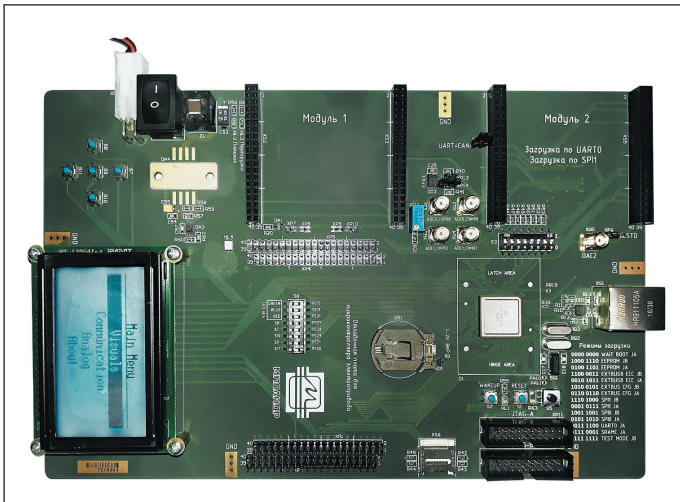


Рис. 2. Отладочная плата общего назначения

энкодеров для работы с датчиками положения, аппаратный вычислитель тригонометрических функций, позволяющий в несколько раз сократить требуемую на преобразования систему координат.

Контроллеры АЦП объединяют управление двумя блоками аналоговых АЦП и могут автоматически производить серию до 32 преобразований по 24 каналам (по восемь для каждого АЦП). Внутри одного блока возможна настройка синхронизации АЦП друг относительно друга: одновременная работа, позволяющая одновременное преобразование по различным каналам, попеременная, позволяющая увеличить скорость преобразований за счет интерливинга, смещение на произвольное количество тактов.

На основе контроллеров ОКР «Электросила» в настоящее время проводится разработка ряда электроприводов. В частности, в нашей компании ведется разработка контроллера, предназначенного для векторного сенсорного управления электродвигателями с постоянными магнитами с возможностью рекуперации при торможении. Максимальная мощность привода достигает 90 кВт, максимальный фазный ток до 800 А, частота вращения 0–1200 Гц. Контроллер предназначен для использования в перспективных образцах авто- и мототехники.

Для знакомства с основными функциями микроконтроллера и отладки программного обеспечения на начальных этапах разработки устройств вместе с микроконтроллером предлагаются традиционная для микроконтроллеров АО «ПКК Миландр» отладочная плата общего назначения (рис. 2) и модуль для интеграции в силовые платы (рис. 3).



Рис. 3. Модуль для использования в системах управления приводами и преобразователях напряжения

Отладочная плата общего назначения позволяет реализовать базовые функции контроллера, она содержит набор базовых интерфейсов (в том числе Ethernet 10/100 с контроллером РНУ-уровня), ЖК-экран и разъемы для установки модулей расширения.

Модуль расширения для реализации алгоритмов управления приводами и преобразователей напряжения содержит микроконтроллер, кварцевый генератор, отладочный разъем и переключатели задания режима загрузки. Реализация небольшого размера платы и использование 100-контактного DIMM-интерфейса позволяют минимизировать длину проводников и улучшить качество сигналов управления, а также обеспечить совместимость с силовыми платами ТИ, что ускоряет перенос программного кода между процессорами. На разъем выведены питание контроллера, выводы, реализующие функции ШИМ, АЦП, ЦАП и датчиков положения.

В микроконтроллере заложена энергоэффективная система питания, где питание цифровой части осуществляется двухступенчатым преобразованием: сначала линейный регулятор или импульсный преобразователь понижает входное питание до 1,6 В, далее отдельный регулятор понижает питание до 1,2 В. Это позволяет при больших токах потребления за счет использования импульсного преобразователя в первой ступени снизить общую потребляемую мощность.

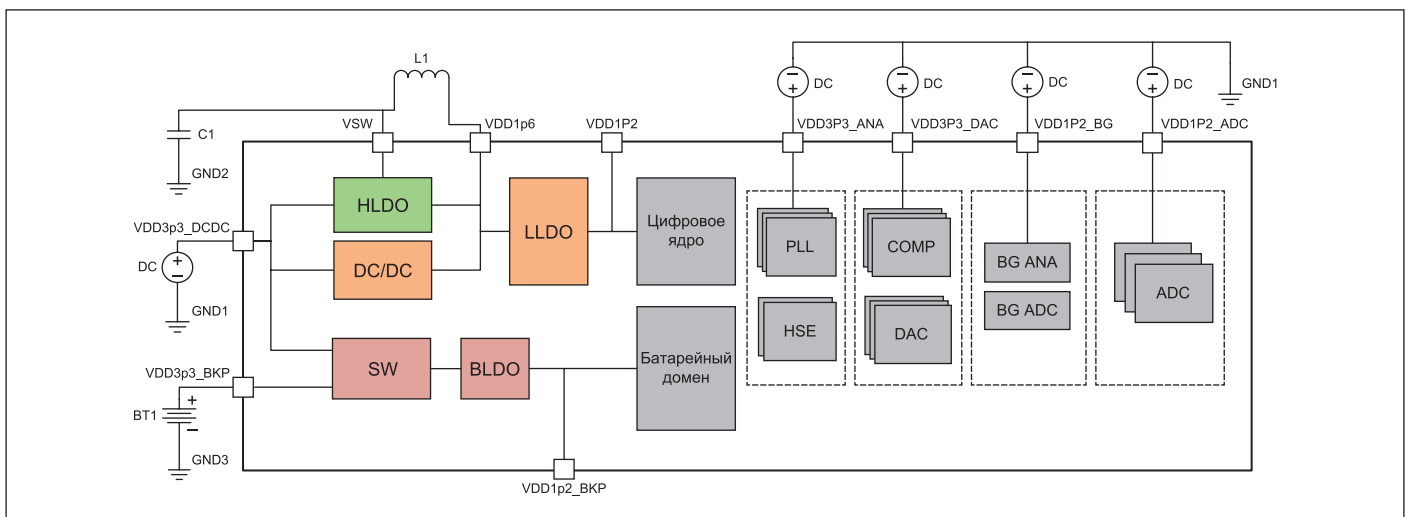


Рис. 4. Структурная схема системы питания

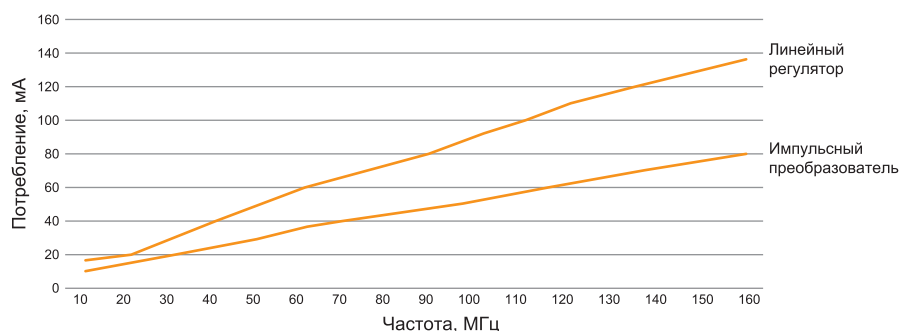


Рис. 5. Зависимость потребления тока контроллеров от рабочей тактовой частоты

На рис. 5 представлены графики зависимости потребляемого микроконтроллером тока от рабочей частоты. Максимальный эффект от использования импульсного преобразователя происходит в режимах максимального энергопотребления и достигает 50%.

Диаграмма потребления тока микроконтроллера в различных режимах формирования питания представлена на рис. 6. Стартует микроконтроллер всегда в режиме питания от двух линейных регуляторов. Далее программным путем может быть осуществлен переход на использование импульсного преобразователя, для этого надо только включить импульсный преобразователь соответствующим битом в контроллере батарейного домена, дождаться его выхода в режим, после чего отключить линейный регулятор высокого уровня. При этом сразу наблюдается падение потребления на 40–50%. Максимальный эффект от использования импульсного преобразователя достигается при наибольшей нагрузке микроконтроллера. Обратной стороной наличия преобразователя становятся шумы от его работы, впрочем, шумовой эффект фильтруется линейным регулятором во второй ступени преобразования. Максимальный динамический ток потребления микроконтроллера составил 190 мА.

Питание батарейного домена осуществляется отдельным регулятором: в ИМС реализована схема автоматического переключения на батарейное питание при отключении основного.

Кроме питания цифровой части, в контроллере предусмотрены отдельные домены питания для АЦП, ЦАП и компараторов, источников опорных напряжений и блоков формирования и умножения частоты, что позволяет существенно снизить уровень шумов из-за помех в основных шинах питания.

Микроконтроллер проекта «Печать-М» представляет собой проект «Электросила», дополненный сопроцессором на основе вычислительного ядра Cortex-M0 (рис. 7). Это автономный защищенный ми-

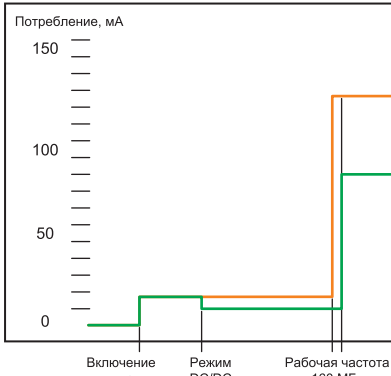


Рис. 6. Диаграмма потребления тока микроконтроллера в различных режимах работы

кроконтроллер, обладающий собственным набором блоков памяти (128 кбайт ОЗУ, 64 кбайт OTP, 2 кбайт память ключей и загрузочная ROM-память) и интерфейсом UART. При включении криптографического процессора стартует загрузочная программа, содержащаяся в интегрированной ROM-памяти, которая через выделенный канал дешифрует и осуществляет загрузку исполняемого кода в ОЗУ. Связь между открытой и закрытой частью происходит через доверенный шлюз, таким образом блокируются попытки несанкционированного доступа со стороны открытой части микроконтроллера.

При реализации алгоритма шифрования AES скорость преобразования достигает 18 Мбит/с.

Для выполнения раундов алгоритма DES имеется отдельный блок. Таким образом, программа представляет собой циклическую инициализацию блока значениями ключей и данных и позволяет производить шифрование со скоростью до 30 Мбит/с.

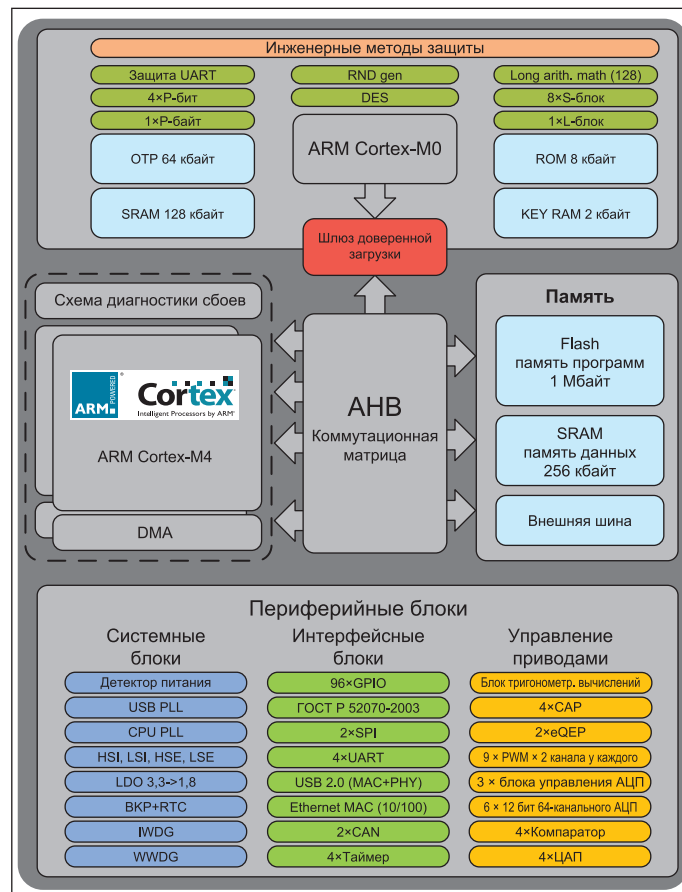


Рис. 7. Структурная схема микроконтроллера проекта «Печать-М»

Столь же эффективны российские алгоритмы шифрования «Магма» (рис. 8) и «Кузнечик» (рис. 9) на основе блоков подстановки и линейного преобразования. Скорость работы алгоритмов при реализации на основе криптографического сопроцессора для алгоритма «Магма» составляет 20 Мбит/с, для алгоритма «Кузнечик» — 36 Мбит/с.

Для ускорения асимметричных алгоритмов и алгоритмов хэширования и цифровой подписи предусмотрен блок длинночисленной арифметики с длиной слова данных 128 бит, собственной памятью инструкций 4 кбайт, операциями сдвига, умножения и сложения.

В настоящее время инженерные образцы микроконтроллеров проекта «Электросила» изготовлены и поставляются заказчикам. Контроллер ОКР «Печать-М» находится в производстве. Начать поставку образцов предполагается осенью 2019 года.

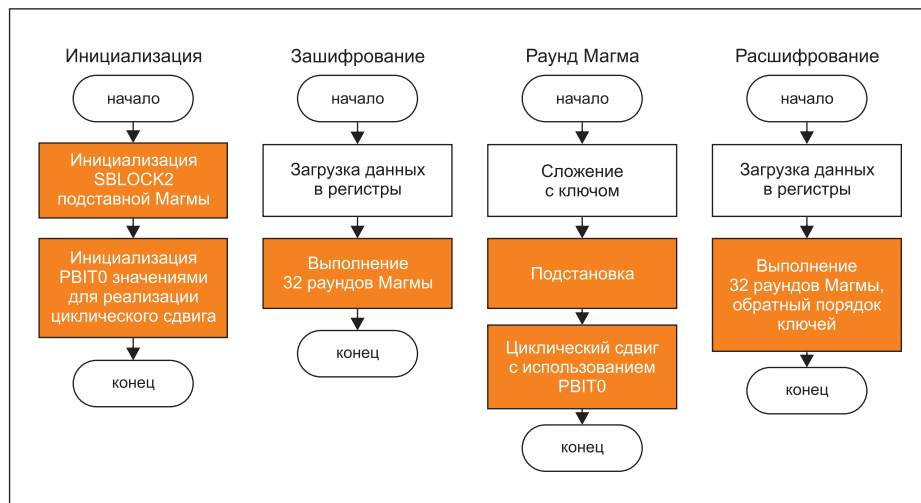


Рис. 8. Реализация алгоритма «Магма» на основе микроконтроллера «Печать-М»

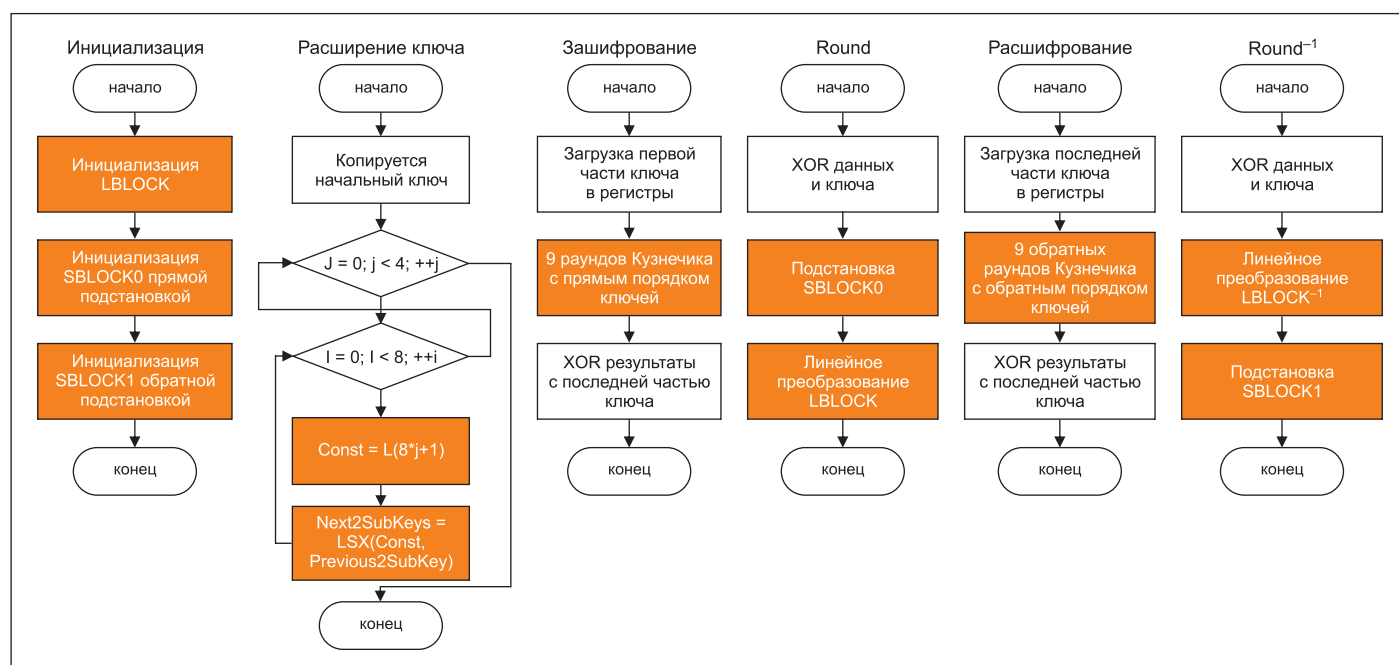


Рис. 9. Реализация алгоритма ГОСТ Р 34.12-2015 «Кузнечик» на основе микроконтроллера «Печать-М»