

Концепция построения модульных цифровых преобразователей в системах электропитания

А. Кузицын¹

УДК 621.314.1 | ВАК 2.2.2

Переход от аналоговых к цифровым схемам управления для модульных преобразователей питания на базе микроконтроллеров расширяет возможности разработчиков систем питания и позволяет снизить издержки производства. В статье рассмотрена возможность универсализации миниатюрных DC/DC-преобразователей мощностью до 10 Вт с входным диапазоном от 3,3 до 24 В путем перехода на цифровые методы управления модульными источниками питания, что дает возможность сократить номенклатуру выпускаемых изделий. Показана перспективность развития цифровых платформ для построения модульных преобразователей питания.

Сегодня на рынке доступно огромное число микросхем для построения DC/DC-преобразователей, которые предлагают ведущие мировые производители, такие как Texas Instruments, National Semiconductor, On Semiconductor, Power Integration, Analog Devices, Maxim, Infineon. В большинстве случаев эти решения строятся на основе аналоговых схем, в состав которых входят следующие базовые элементы: широтно-импульсный модулятор, фильтр, цепь обратной связи для слежения за параметрами и аналоговое управляющее устройство, работающее по алгоритму, заданному производителем (рис. 1).

Качество алгоритма управления является решающим в работе преобразователя – чем «интеллектуальнее» алгоритм, тем меньше затраты ресурсов со стороны пользователя. Другими словами, чем выше качество микросхемы преобразователя, тем меньше времени на его настройку требуется инженеру-разработчику – часто ему достаточно реализовать схему из описания микросхемы.

Тем не менее, многие производители предлагают функционал, позволяющий изменять параметры преобразователя в некотором диапазоне, тем самым расширяя возможности микросхемы. И разработчик может создать преобразователь с требуемыми ему характеристиками. Однако возможности, закладываемые производителем изделия, сильно ограничены.

Разработчик, например, может установить напряжение на преобразователе путем подстройки внешних аналоговых цепей, как в случае цепи резисторов, формирующей напряжение сигнала обратной связи (рис. 2). Это требует времени на подбор параметров и отладку схемы.

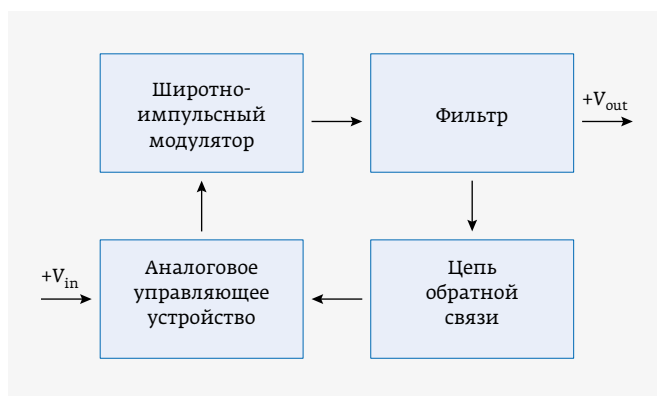


Рис. 1. Блок-схема DC/DC-преобразователя, построенного на базе аналоговых элементов

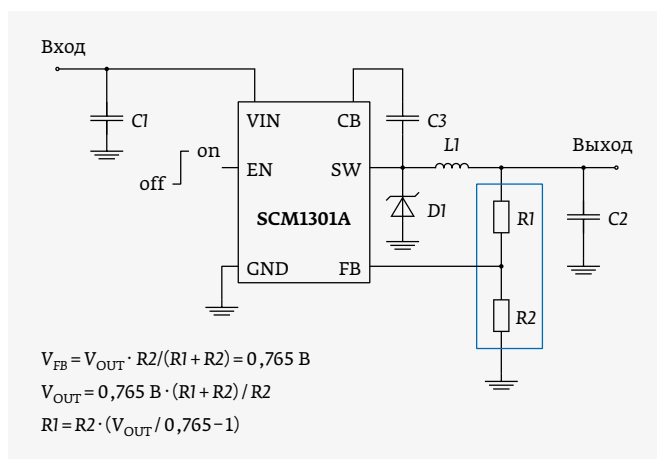


Рис. 2. Выбор внешних элементов для подстройки выходного напряжения в DC/DC-преобразователе на базе SCM1301A

¹ ООО «ЭКО Пауэр», технический директор.

А в случае изготовления однотипных преобразователей с разными характеристиками придется для каждой модели обеспечивать закупку компонентов обвязки со своим набором номиналов.

Кроме решений на микросхемах, сегодня все более широкое распространение получают интегрированные модульные преобразователи, не требующие большого числа элементов обвязки. В частности, модульные преобразователи выпускает компания Mornsun. Для удобства в данной статье будем рассматривать решения, главным образом, этого производителя, хотя и другие компании предлагают модули, зачастую близкие или совпадающие по характеристикам с продукцией Mornsun.

Модульные преобразователи очень удобны, так как позволяют быстро создать схему электропитания. Однако за видимой простотой таких решений скрывается ряд трудностей. Одна из таких трудностей – необходимость поддержания производства широкой номенклатуры изделий, например, линейка продуктов Mornsun насчитывает более 10 тыс. позиций. Для изготовления каждой серии требуется уникальная номенклатура компонентов, возрастают сроки производства и, как следствие, цена.

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

Рассмотрим возможность универсализации миниатюрных DC/DC-преобразователей за счет перехода на цифровые методы управления модульными источниками питания, что позволило бы сократить номенклатуру выпускаемых изделий.

В настоящее время встречаются специализированные решения, построенные на цифровых микросхемах, в частности MCP191xx, MCP192xx от Microchip. Это так называемые цифро-аналоговые контроллеры импульсных источников питания (DEPA – digitally enhanced power analog). Однако такие преобразователи практически «неизвестны» широкому кругу специалистов и широко не применяются. Причинами их низкой популярности являются: относительно высокая цена, сложность в работе и предубеждение по поводу низкой надежности цифровых схем по сравнению с аналоговыми схемами. Попробуем взглянуть на эти проблемы с позиции современного уровня развития техники.

С появлением недорогих высоконадежных микроконтроллеров задача построения DC/DC-преобразователей на их базе выглядит более привлекательной и не такой сложной, как ранее. Покажем на нескольких простых примерах, какие преимущества можно получить, используя микроконтроллеры в качестве драйверов DC/DC-преобразователей.

На рис. 3 показана типовая схема DC/DC-преобразователя на базе контроллера SCM1212 от Mornsun. Схема представляет собой нестабилизированный гальванически

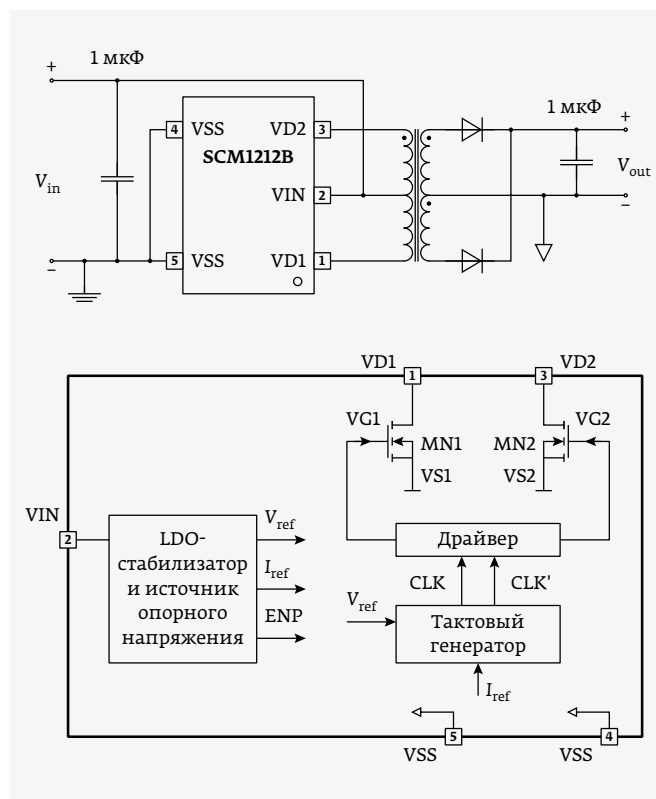


Рис. 3. DC/DC-преобразователь на базе SCM1212 и блок-схема микросхемы

развязанный DC/DC-преобразователь с узким входным диапазоном мощностью до 2 Вт. Принцип работы этого преобразователя заключается в следующем. Выходами микросхемы VD1, VD2 являются стоки полевых транзисторов, которые поочередно переключаются с заданной частотой (рис. 4). Через первичные обмотки

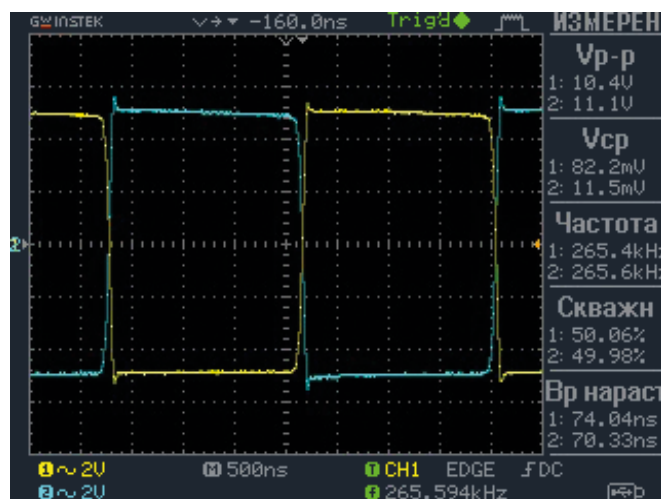


Рис. 4. Осциллограммы на выходах микросхемы SCM1212: VD1 (голубой) и VD2 (желтый)

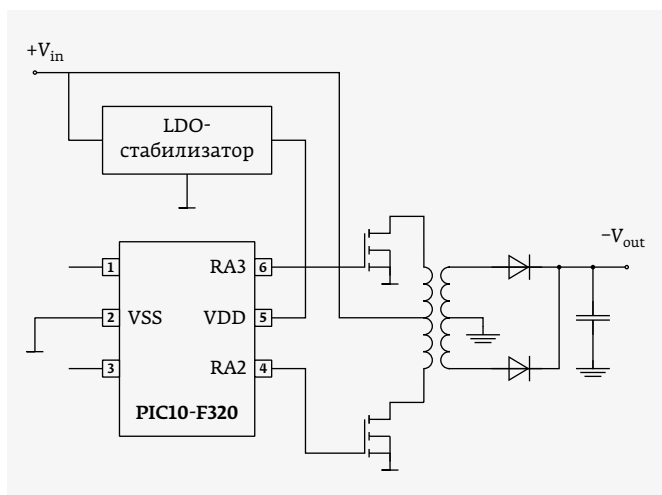


Рис. 5. Схема DC/DC-преобразователя на базе микроконтроллера PIC10-F320 (схема построена по аналогии с SCM1212)

трансформатора, подключенные к выводам VD1, VD2, попеременно протекает разнонаправленный ток. Таким образом, осуществляется накачка энергией трансформатора, которая передается во вторичную цепь. Данная схема очень популярна.

Самый распространенный вариант применения этой микросхемы – преобразование напряжения 5 В в 5 В. Но, если нужно получить другое выходное напряжение, тогда разработчику придется использовать трансформатор с другим соотношением числа витков между вторичной и первичной обмотками.

У микросхемы SCM1212 частота практически постоянна, скважность фиксирована и равна 0,5. При этом производитель рекомендует использовать фирменные трансформаторы, поскольку оптимизирует алгоритм работы специально под них. Следует отметить, что сам алгоритм является закрытым.

Рассмотрим аналогичное решение, построенное на микроконтроллере. В качестве примера выберем PIC10LF320 от Microchip, один из самых простых 8-битных микроконтроллеров с малым числом выводов (рис. 5). Однако можно также рассматривать микроконтроллеры других типов и производителей.

Предложенная схема выполняет те же функции, что и описанная выше с использованием SCM1212, но возможности ее шире. К дополнительному функционалу относятся программное управление частотой и скважностью, временем запуска преобразователя; контроль температуры, выходного тока, входного напряжения; мониторинг времени работы, мониторинг ошибок.

Поясним, для чего это может понадобиться.

Изменение частоты. У трансформаторов есть резонансные частоты, зависящие от параметров сердечника.

При использовании различных трансформаторов может оказаться, что работа схемы на одной и той же частоте будет различаться. Однако перестройка частоты ШИМ-контроллера позволит добиться лучших результатов. Кроме того, для улучшения помехоустойчивости (в частности для систем радиосвязи) иногда необходима отстройка частоты преобразователя от частот радиопередающих и измерительных блоков в составе устройства.

Управление скважностью. Изменяя скважность можно изменять выходное напряжение в некоторых пределах, что позволяет использовать один и тот же трансформатор для разных выходных напряжений.

Время запуска. При подаче питания в схемах с большим числом преобразователей происходит синхронное включение и, как следствие, скачок стартового тока. Этого можно избежать, регулируя время запуска каждого преобразователя. Также можно комплексно реализовать функцию мягкого старта источника.

Контроль температуры. В зависимости от температуры окружающей среды можно вносить корректировки по частоте и скважности преобразователя, тем самым улучшая характеристики. При выходе температуры за пределы рабочего диапазона можно отключить преобразователь и тем самым защитить схему от перегрева.

Мониторинг времени работы. Можно вести статистику учета рабочего времени преобразователя для контроля условий работы схемы.

Мониторинг входного напряжения. При превышении напряжения выше допустимых значений можно выключить преобразователь, а также сделать запись об аварийном превышении напряжения.

Мониторинг выходного тока. При перегрузке по току преобразователь отключается и запускается снова при возврате нагрузки в допустимые пределы.

Мониторинг ошибок. Ведется реестр ошибок в микроконтроллере, и в случае нестандартных ситуаций (выход из строя, ошибки в работе) возможно быстрое выявление причин.

Рассмотрим еще один пример. На рис. 6 показана типичная схема DC/DC-преобразователя на базе микросхемы SCM1301 от Mornsun. Это стабилизированный преобразователь без гальванической изоляции. Принцип работы данной схемы состоит в следующем. Под управлением встроенного генератора ключ на выходе SW создает импульсное напряжение с определенной частотой и скважностью (рис. 7). При замыкании ключа происходит накачка энергией дросселя L1, который при каждом размыкании ключа разряжается на конденсатор C2. Таким образом, на выходе схемы можно получить различные уровни выходного напряжения. Для стабилизации выходного напряжения используется сигнал обратной связи (FB), снимаемый с цепи резисторов (R1, R2).

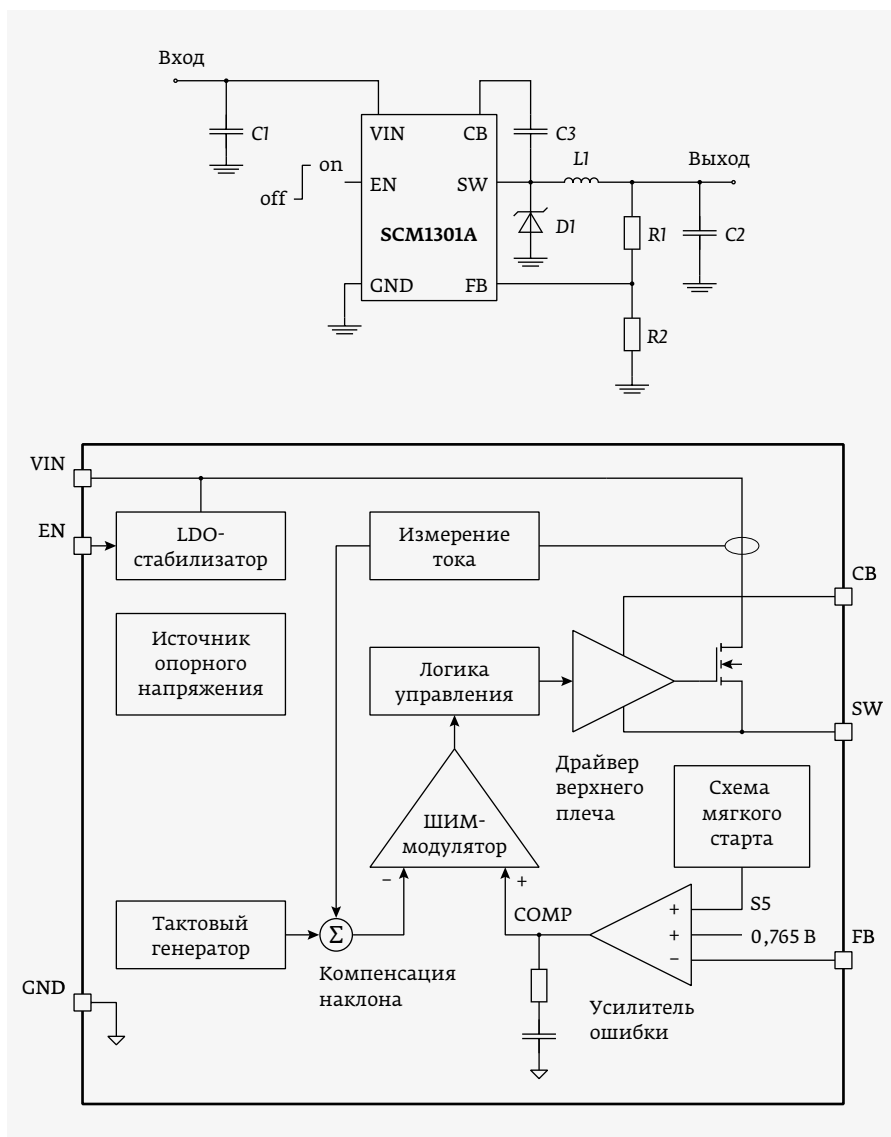


Рис. 6. Схема DC/DC-преобразователя на базе SCM1301 и блок-схема микросхемы

Данная схема типична для систем с распределенным питанием. Она работает в широком диапазоне напряжений (от 4,5 до 40 В). Самый распространенный вариант применения этой микросхемы – преобразователь напряжения из 12 В в 5 В. Но, если нужно получить иное выходное напряжение, тогда разработчику надо будет подобрать другие резисторы на выходе (R1, R2). У данной микросхемы частота фиксирована, а скважность регулируется за счет ОС. Именно таким образом осуществляется стабилизация. Следует отметить, что в этой микросхеме, так же как и в предыдущем примере, жестко «зашит» закрытый алгоритм работы микросхемы.

Теперь рассмотрим аналогичную цифровую схему, построенную на микроконтроллере PIC10LF320 (рис. 8). Она выполняет те же функции, однако, как и в предыдущем случае, отличается рядом преимуществ по сравнению с аналоговой схемой, среди которых программное управление частотой и скважностью, временем запуска преобразователя; контроль

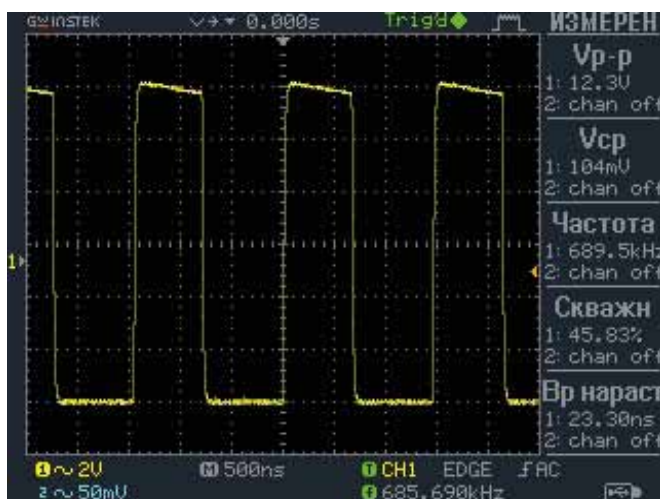


Рис. 7. Осциллограмма на выходе SW микросхемы SCM1301

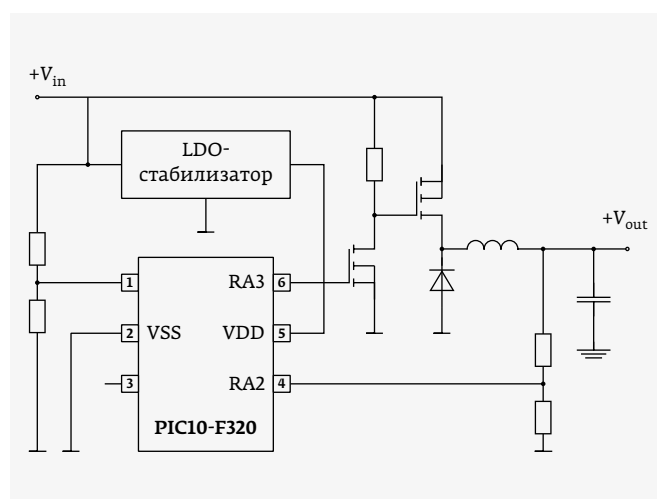


Рис. 8. Схема DC/DC-преобразователя на базе микроконтроллера PIC10-F320 (схема построена по аналогии с SCM1301)

температуры, выходного тока; мониторинг входного напряжения, времени работы; ведение реестра ошибок. В дополнение к сказанному следует отметить широкие программные возможности по работе микросхемы с динамической нагрузкой. То есть можно настроить микросхему на работу при перегрузках с выключением защитных механизмов.

Иными словами, программные возможности микроконтроллерных решений гораздо шире возможностей жестко зашитого алгоритма.

Но не стоит считать, что микроконтроллеры во всем превосходят старые добрые аналоговые схемы. Это не так. Аналоговые схемы остаются менее затратными, более быстрыми и простыми. И тут нужно обратить внимание читателя на тенденции в современной электронике, которые могут привести к паритету между «аналоговыми» и «цифровыми» мозгами:

- **Цена.** Цена на микроконтроллеры общего назначения значительно снизилась в последние годы и становится сравнимой с ценой аналоговых решений. Однако, в ближайшем будущем при универсализации предложенных решений может оказаться, что эти решения станут более привлекательными по цене за счет крупносерийного производства в сравнении с микросхемами, выпускаемыми малыми партиями. Пример: микросхемы от Mornsun. Кроме того, не исключено скорое появление недорогих специализированных микросхем, совмещающих в себе функции микроконтроллера и преобразователя, технически для этого нет преград.
- **Скорость.** В стремлении предложить наиболее близкое по цене микроконтроллерное решение приходится жертвовать производительностью микроконтроллера и внутренней периферией. Однако, часто при решении широкого круга задач для систем питания

разработчику требуется больше гибкости в настройке преобразователя, чем наличие «идеальных» характеристик преобразователя. Тем не менее, если не стремиться сделать преобразователь по минимально возможной цене, а заплатить немного больше, то цифровая схема уже может выполнять все основные функции аналогового ШИМ-контроллера, при этом она превзойдет его по характеристикам.

Таблица 1. Модельный ряд DC/DC-преобразователей Mornsun и возможность их замены на платформы

| Наименование преобразователя | Входное напряжение, В | Выходное напряжение, В | Выходной ток, мА | Замена |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------|
| B0303xx-1W | 2,97...3,63 | 3,3 | 200 | Платформа B1 |
| B0503xx-1W | 4,5...5,5 | 3,3 | 200 | |
| B0505xx-1W | | 5 | 200 | |
| B0507xx-1W | | 7,2 | 138 | |
| B0905xx-1W | 8,1...9,9 | 5 | 200 | |
| B0909xx-1W | | 9 | 111 | |
| B1203xx-1W | 10,8...13,2 | 3,3 | 200 | |
| B1205xx-1W | | 5 | 200 | |
| B1212xx-1W | | 12 | 83 | |
| B1505xx-1W | 13,5...16,5 | 5 | 200 | |
| B1512xx-1W | | 12 | 83 | |
| B1515xx-1W | | 15 | 66 | |
| B2403xx-1W | 21,6...26,4 | 3,3 | 200 | Платформа K1 |
| B2405xx-1W | | 5 | 200 | |
| B2409xx-1W | | 9 | 111 | |
| B2412xx-1W | | 12 | 83 | |
| B2415xx-1W | | 15 | 66 | |
| B2424xx-1W | | 24 | 41 | |
| K7801-500 | 4,75...28 | 1,5 | 500 | |
| K7802-500 | 4,75...28 | 2,5 | | |
| K7803-500 | 4,7...36 | 3,3 | | |
| K7805-500 | 6,5...36 | 5 | | |
| K78x6-500 | 8...36 | 6,5 | | |
| K7809-500 | 12...36 | 9 | | |
| K7812-500 | 12...36 | 12 | | |
| K7815-500 | 19...36 | 15 | | |

- **Простота.** Большинство разработчиков систем питания работают с аналоговыми схемами, и мало кто среди них является экспертом в цифровой технике. Похожая ситуация обстоит и с инженерами по цифре – они не сильны в аналоговой технике. Из-за этого для инженера, занимающегося системами питания, представляет большую трудность использование преобразователей на микроконтроллерах, так как это требует навыков программирования. Для упрощения работы с микроконтроллерами предлагается создание программной среды, упрощающей работу с такими преобразователями для «неспециалистов».

ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ КАК СПОСОБ УНИВЕРСАЛИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПИТАНИЯ

Как было отмечено выше, преобразователи можно реализовать на базе микроконтроллеров. Mornsun и другие производители предлагают широкий номенклатурный ряд модульных преобразователей. На примере модулей Mornsun, построенных на микросхемах SCM1212 и SCM1301, покажем возможный путь универсализации решений для преобразователей питания.

Если реализовать универсальные модульные решения на базе микроконтроллеров, которые будут совмещать в себе функционал нескольких десятков «аналоговых» позиций, то можно существенно сократить номенклатуру изделий. Для удобства восприятия будем называть такие преобразователи «платформами» (табл. 1).

Перечислим преимущества перехода на платформы для разработчиков и производителей.

- **Издержки производства.** Уменьшение номенклатуры на производстве позволяет снизить издержки и, как следствие, приведет к снижению цены на платформу.
- **Склад.** Упрощение поддержки меньшей номенклатуры платформ на складе производителя, дистрибьютора и заказчика.
- **Универсальность или взаимозаменяемость.** Если окажется, что у заказчика будут лишние запасы платформ, то он может вернуть их обратно или использовать их под новые задачи, оперативно изменив параметры преобразователя. Кроме того, разработчику будет проще осуществить замену снимаемых с производства продуктов.
- **Функционал.** Более гибкий функционал по сравнению с аналоговыми преобразователями, позволяющий получить дополнительные возможности по улучшению работы устройства в целом.

При работе с платформами появляется задача программирования микроконтроллера в их составе. Можно было бы просто оставить платформу как есть и дать разработчику возможность самостоятельно осваивать среду

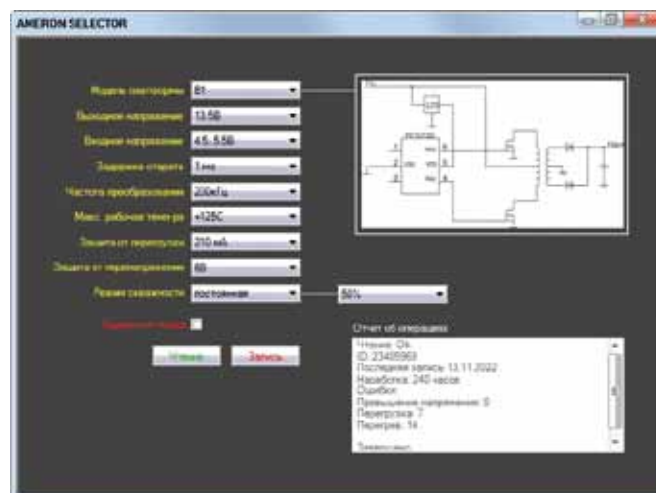


Рис. 9. Прототип интерфейса программы для работы с платформами

для разработки микроконтроллеров, писать программу или использовать готовые библиотеки. Такая возможность, безусловно, сохраняется. Но это может потребовать дополнительного времени от инженера на освоение среды. Как правило, многие специалисты по микроконтроллерам имеют неглубокие знания по системам питания, и, наоборот, специалисты по системам питания недостаточно компетентны в цифровой технике.

Поэтому предлагается создать специальный программный пакет, существенно упрощающий прошивку платформы. В программе достаточно будет выбрать тип платформы, задать требуемые характеристики (входное и выходное напряжение, ток, рабочую температуру, частоту преобразования) и получить готовый код для прошивки (рис. 9), который затем с помощью программатора записывается в платформу.

Подводя итоги сказанному, следует отметить, что автор видит перспективу развития нового направления и рост популярности модульных цифровых платформ в ближайшем будущем. И производитель, который раньше обратит внимание на данную концепцию, будет иметь возможность занять и удерживать конкурентные позиции на рынке электроники долгое время.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Виллейт М.** Цифровое питание // Компоненты и технологии. 2010. № 5.
2. **Самоделов А., Игнатов С.** Источники питания с цифровым управлением // Силовая электроника. 2012. № 2.
3. **Штрапенин Г.** Цифро-аналоговые контроллеры импульсных источников питания Microchip // Компоненты и технологии. 2017. № 10.

ИМС четырехканального супервизора питания 5322CX065

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» освоило в серийном производстве микросхему 5322CX065 четырехканального супервизора питания со встроенным сторожевым таймером для контроля уровней напряжения от четырех независимых источников питания. Микросхема предназначена для применения в аппаратуре, устойчивой к специальным внешним воздействующим факторам.

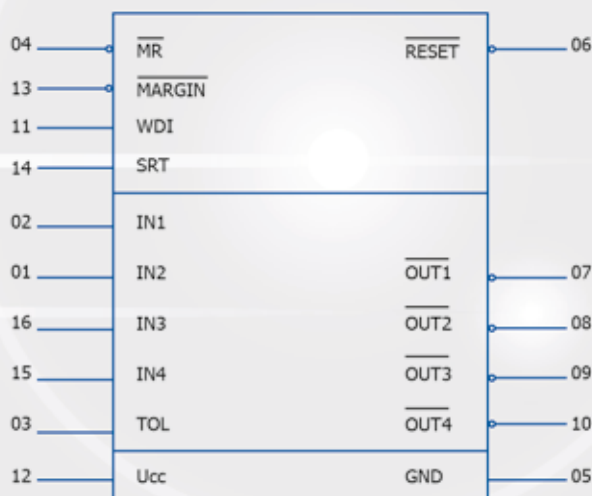
Микросхема изготавливается в металлокерамическом корпусе типа МК 5119.16-А.

Функциональный аналог микросхемы – микросхема MAX16001E компании Maxim Integrated.

Таблица 1. Основные параметры микросхемы

| Наименование параметра | Норма параметра |
|---|-----------------------|
| Напряжение питания, В | 2,0 ÷ 5,5 |
| Настраиваемое пороговое напряжение на входах IN1, IN2, IN3, IN4, Упорн, В | 0,984 ÷ 1,016 |
| Длительность сигнала «сброс» RESET, мс | 140 ÷ 280 или 35 ÷ 70 |
| Время переполнения сторожевого таймера, мс | 1120 ÷ 2400 |

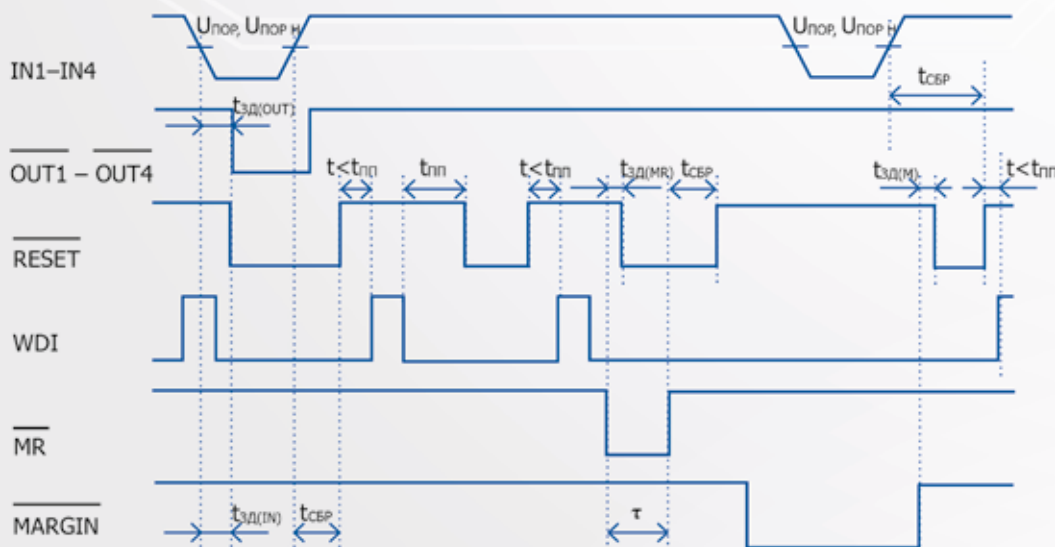
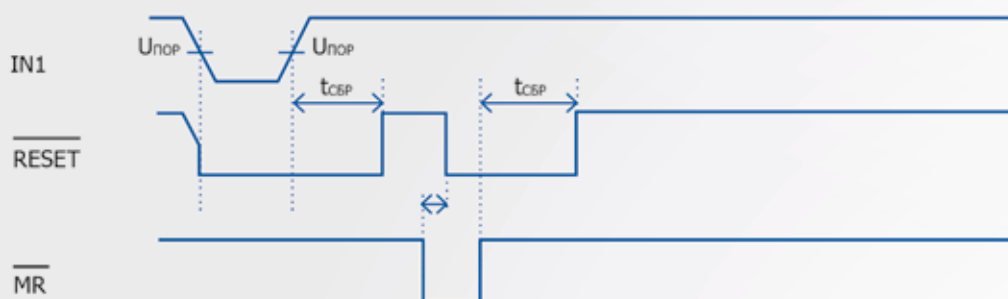
Рис. 1. Условное графическое обозначение



Четыре настраиваемых канала по входам IN1, IN2, IN3, IN4 (далее IN1÷IN4) для контроля уровней напряжения четырех независимых источников питания. Реализованы функции «сброс от внешней кнопки» и «сброс по переполнению сторожевого таймера». К настраиваемым каналам далее IN1÷IN4 подключаются внешние резистивные делители для формирования входных пороговых напряжений $U_{пор\ вх} \geq 1,016$ В (немного выше 1,016 В). Настраиваемые входы позволяют контролировать уровни напряжения источников питания, превышающее напряжение питания микросхемы. В микросхеме реализована возможность изменения длительности сигнала сброса с помощью внешнего вывода SRT. При подключении вывода SRT к выводу питания длительность сигнала сброса составляет 140 ÷ 280 мс, при подключении вывода SRT к общему выводу длительность сигнала сброса составляет 35 ÷ 70 мс. Микросхема имеет вход MARGIN блокировки выходов. При подаче на вход MARGIN импульса активного низкого уровня все выходы микросхемы переводятся в неактивное состояние, что позволяет блокировать сигналы сброса при настройке системы. Выходы микросхемы RESET и OUT1 ÷ OUT4 имеют слабую, порядка 10 мкА, подтяжку к питанию и схемотехнически выполнены таким образом, что при их подключении через внешний резистор к источнику с напряжением питания большим U_{cc} микросхемы, ток утечки с этого источника на V_{cc} отсутствует.

Микросхема обладает следующими функциональными возможностями:

- формирование сигнала «сброс» RESET при контроле уровней напряжений на входах IN1÷IN4;
- формирование сигнала «сброс» RESET внешней кнопки по входу MR (функция «сброс от внешней кнопки»);
- формирование сигнала «сброс» RESET по переполнению сторожевого таймера (функция «сброс при переполнении сторожевого таймера»);
- формирование сигналов ошибки по выходам OUT1 ÷ OUT4 при контроле уровней напряжений источников питания на входах IN1÷IN4.

Рис. 2. Временная диаграмма работы микросхемы (вход WDI подключен)

Рис. 3. Временная диаграмма работы микросхемы для входа IN1 (вход WDI не подключен)

Функция контроля напряжения источников питания по настраиваемым каналам

Микросхема контролирует уровни напряжения источников питания с различными номиналами напряжения по настраиваемым каналам на входах IN1 ÷ IN4 (далее IN). Для задания входного настраиваемого порогового напряжения $U_{\text{пор вх}}$ используются внешние резистивные делители напряжения, выходы которых подключены к входам IN. Входное пороговое напряжение на выходе внешних резистивных делителей $U_{\text{пор вх}}$ должно быть немного выше 1,016 В.

Входы IN соединены с входами соответствующих компараторов, на вторые входы которых подается опорное напряжение, вырабатываемое внутренним источником опорного напряжения. Компараторы сравнивают напряжения на любом из настраиваемых входов IN с напряжением внутреннего источника опорного напряжения. В случае возникновения сбоя, т.е. ситуации, когда уровни $U_{\text{пор вх}}$ на входах IN опускаются ниже настраиваемого уровня порогового напряжения $U_{\text{пор н}}$, вырабатывается внутренний сигнал ошибки питания, переводящий сигнал сброса на выходе RESET и сигналы ошибки на выходах OUT1 ÷ OUT4 в активное состояние низкого уровня. Сигналы RESET и OUT1 ÷ OUT4 будут оставаться в активном состоянии до тех пор, пока уровни $U_{\text{пор вх}}$ на входах IN остаются ниже уровня $U_{\text{пор н}}$. После возвращения уровней напряжения на входах IN в устойчивое состояние, сигналы OUT1 ÷ OUT4 переходят в состояние высокого уровня, а сигнал сброса RESET остается активным не менее 35 или 140 мс, позволяя источнику питания и процессору стабилизироваться.

Функция «сброс от внешней кнопки»

Микросхема имеет вход ручного сброса $\overline{\text{MR}}$ от внешней кнопки. При подаче на вход $\overline{\text{MR}}$ импульса активного низкого уровня формируется сигнал «сброс» RESET. Сигнал «сброс» остается в активном состоянии не менее 35 или 140 мс после того, как MR переключится обратно из низкого уровня в высокий (с момента отжатия кнопки).

Функция «сброс при переполнении сторожевого таймера»

Микросхема имеет внутренний сторожевой таймер, который периодически очищается внешним управляющим сигналом на выводе WDI, формируемым микропроцессором. Эта периодическая очистка не позволяет таймеру переполниться и сформировать сигнал «сброс» RESET для микропроцессора. Если по какой-либо причине микропроцессор не сформировал сигнал очистки таймера (ошибка в программе, конфликт логических уровней на шине данных, мощная радиопомеха и т.д.), то по переполнению его счета сигнал «сброс» на выводе RESET установится в активное состояние низкого уровня. Время переполнения сторожевого таймера составляет 1120 ÷ 2400 мс.

Микросхема 5322CX065 имеет стойкость к воздействию специальных факторов 7.И, 7.С и 7.К по ГОСТ РВ 20.39.414.2 с характеристиками 7.И₁ – 3Ус; 7.И₆ – 4Ус; 7.И₇ – 4×4Ус; 7.С₁ – 10×1Ус, 7.С₄ – 2×5Ус, 7.К₁ – 2К; 7.К₄ – 1К, 7.К₉(7.К₁₀) – является стойкой, 7.К₁₁(7.К₁₂) – 60 МэВ×см²/мг по катастрофическим отказам и тиристорному эффекту.

Микросхема 5322CX065 включена в Перечень ЭКБ 02.