

Компактные изолированные преобразователи российского производства.

Опыт импортозамещения

В статье обосновывается целесообразность применения отечественных преобразователей напряжения (модулей электропитания) при создании изделий специального назначения. Производится сравнение параметров российских модулей электропитания серии КМН производства ООО «КВ Системы» с импортными аналогами. Анализируются схемотехнические решения, направленные на обеспечение надежности.

**Александр Дыбой
Олег Негреба
Константин Степнев**

info@kwsystems.ru

В современном мире наблюдается тенденция к усложнению радиоэлектронной аппаратуры и к расширению ее функциональных возможностей. Например, системы связи и радиолокации совмещают в одном конструктиве мощные выходные каскады, малошумящие входные усилители, цифровые фильтры и вычислители, а также автоматику, реализованную на микропроцессорах. Проектирование таких систем представляет собой сложную задачу. Одна из основных проблем, с которыми сталкиваются разработчики, — обеспечение электромагнитной совместимости, то есть совместной работы устройств, часть из которых создает интенсивные помехи. Как известно, распространение помех в виде электромагнитного излучения через эфир способно влиять на работу радиоприемных устройств, телевизионного оборудования и т. д. Однако этот путь распространения помех не является основным. Значительная мощность помех передается кондуктивным, или контактным, путем. Нетрудно понять, что главными «носителями» такой помехи являются шины электропитания, которые напрямую соединяют составные части оборудования. А в силу того что эти шины имеют малое сопротивление и низкую индуктивность, они обеспечивают транслирование помех в широком диапазоне частот от нескольких килогерц до десятков мегагерц. Одним из способов эффективной борьбы с помехами является уменьшение размеров оборудования, повышение уровня интеграции, сокращение длины проводников. Говоря о потребностях отечественных разработчиков, следует учитывать актуальный в настоящее время курс на импортозамещение. Как известно, отечественная элементная база уступает импортной по степени интеграции, поэтому указанные проблемы стоят иногда особенно остро.

Один из способов борьбы с кондуктивными помехами — разделение цепей питания отдельных узлов

гальваническим барьером. Эффективным решением оказывается применение компактных модулей электропитания с гальванической изоляцией между входом и выходом. Номинальная выходная мощность таких модулей, как правило, не превышает 10 Вт, а миниатюрные размеры корпуса дают возможность эффективно встраивать их в топологию схем. Их можно рассматривать как замену линейных стабилизаторов, располагаемых в непосредственной близости от потребителей — микропроцессоров, ПЛИС или СБИС. Средний ток, потребляемый такими микросхемами, может составлять более 1 А, что делает применение традиционных линейных стабилизаторов неэффективным из-за большой рассеиваемой мощности.

Рассмотрим другой пример. Предположим, что необходимо обеспечить работу мощного транзисторно-

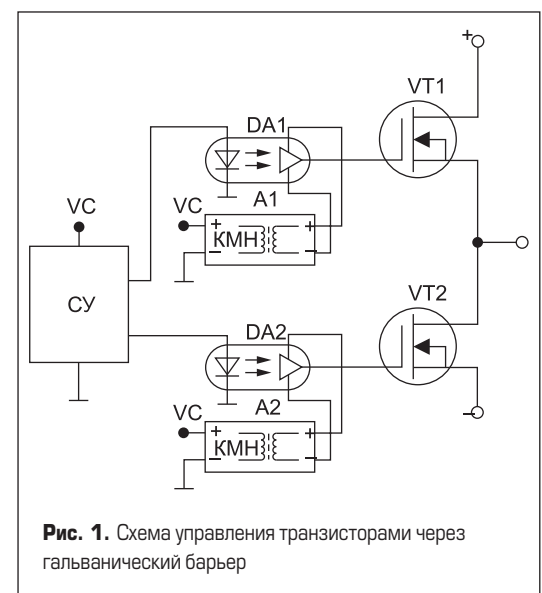


Рис. 1. Схема управления транзисторами через гальванический барьер

го каскада (полумостового или мостового) или инвертора для управления двигателем. Такие схемы содержат пары ключевых транзисторов, включенных по схеме, изображенной на рис. 1. Управление затвором транзистора VT1 усложняется тем, что потенциал его истока не связан ни с одной из шин питания и является «плавающим». С другой стороны, схема управления часто располагается на стороне вторичных цепей, а управление обоими затворами производится через гальванический барьер, как показано на рис. 1. В этом случае используются специализированные драйверы (DA1 и DA2) и схемы с оптронной или другой развязкой, а их питание организуется с помощью модулей рассмотренного типа (A1, A2).

Отечественным потребителям хорошо известны маломощные зарубежные модули, например производства компаний Traco или Resom. Из-за отсутствия отечественных аналогов их применение до последнего времени являлось вынужденной мерой.

Стремясь восполнить указанный пробел и отвечая на запросы потребителей, компания «КВ Системы», входящая в состав НПО «Энергетическая электроника», представила на российский рынок серию новых компактных изолированных преобразователей КМН с выходной мощностью 1, 2, 3 и 5 Вт [1]. Модули поставляются в стандартных корпусах типоразмеров SIP6 (1 Вт) и SIP8 (2, 3, 5 Вт). Внешний вид модулей показан на рис. 2. В таблице приведены основные параметры модулей серии КМН и некоторых импортных аналогов. Можно утверждать, что модули российского производства не уступают предложениям от ведущих мировых компаний как по основным характеристикам, так и по габаритной мощности.

Для отечественных разработчиков электронной аппаратуры применение модулей электропитания российского производства становится все более актуальным. И дело тут не только в действии ограничительных мер. Важнейшим критерием оценки устройств специального назначения является надежность. Особенно это относится к модулям и системам электропитания, нарушение работоспособности которых оказывается наиболее критичным для функционирования аппаратуры в целом. Ряд нормативных документов [2, 3] устанавливают требования к условиям функционирования авиационной техники и техники военного назначения. Соответствие изделий импортного производства критериям надежности остается под вопросом и требует проведения дорогостоящих испытаний. Если потребитель не готов к решению комплекса вопросов обеспечения надежности и получения разрешительных документов, то применение модулей российского производства представляется единственным решением.

Многим известно, что проектирование преобразовательных устройств требует специального опыта. Силовая электроника существует как отдельная предметная область, которая аккумулирует наработки в области схемотехники, электротехники, теплотехники, механики, активно пользуется такими разделами физики,

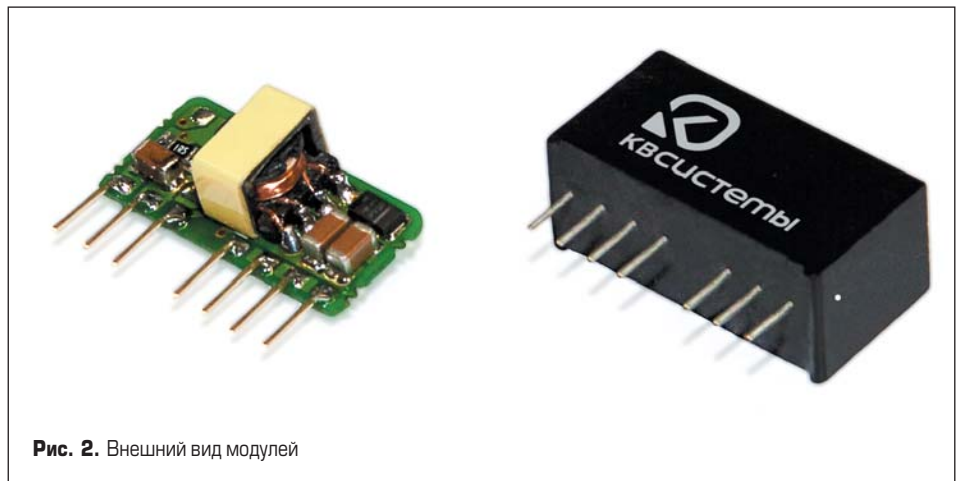


Рис. 2. Внешний вид модулей

как электродинамика и магнетизм. Большая роль здесь отводится глубокому анализу работы и оптимизации каждого элемента, а расхожая фраза «в электронике мелочей не бывает» приобретает особый смысл. За исключением самых простых задач, проектирование импульсных преобразователей на современном техническом уровне требует участия квалифицированных разработчиков. Достаточно много времени занимает отладка и выявление потенциальных проблем. Наблюдаемые сбои могут быть обусловлены отсутствием достаточных технологических запасов, перегрузками во время переходных процессов или другими факторами. Рассмотрим некоторые конкретные вопросы, с которыми столкнулись разработчики при создании и отработке схемотехники серии КМН.

Маломощные импульсные преобразователи с гальванической развязкой повсеместно строятся по схеме обратного преобразователя (рис. 3).

Анализ работы обратных преобразователей подробно изложен в литературе [4, 5]. Учитывая небольшую выходную мощность, оптимальным представляется так называемый

критический режим работы, который является граничным между режимами непрерывного и прерывистого тока намагничивания трансформатора и иллюстрируется временными диаграммами на рис. 4. Включение транзистора VT1 и выключение диода VD2 происходит при нулевом токе. Этим достигается ряд преимуществ:

- Устраняются динамические потери на включение (включение при нулевом токе), что позволяет повысить КПД.

Поскольку входное напряжение невелико и составляет менее 100 В, динамические потери не являются доминирующими, и выигрыш в КПД не превышает 3%. Однако хорошо известно [6], что повышение рабочей температуры приводит к резкому сокращению срока службы электронной аппаратуры. Даже незначительное снижение потерь приводит к облегчению теплового режима элементов, расположенных в миниатюрном корпусе, и как следствие, к повышению надежности.

- Включение транзистора в «жестком» режиме способно привести к возникновению значительных кондуктивных и эфирных радиопомех.

Таблица. Сравнение параметров модулей серии КМН с близкими импортными аналогами

Производитель	Выходная мощность, Вт	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Температурный диапазон, °С	Тип и материал корпуса
«КВ Системы»	1–5	5; 12; 24; 48	3,3–27	–60...+85	SIP-6, SIP-8, пластик, металл
TRACO	1–6		3,3–24	–40...+85	SIP-6, SIP-8, пластик
RECOM	1		3,3–15		SIP-8, пластик

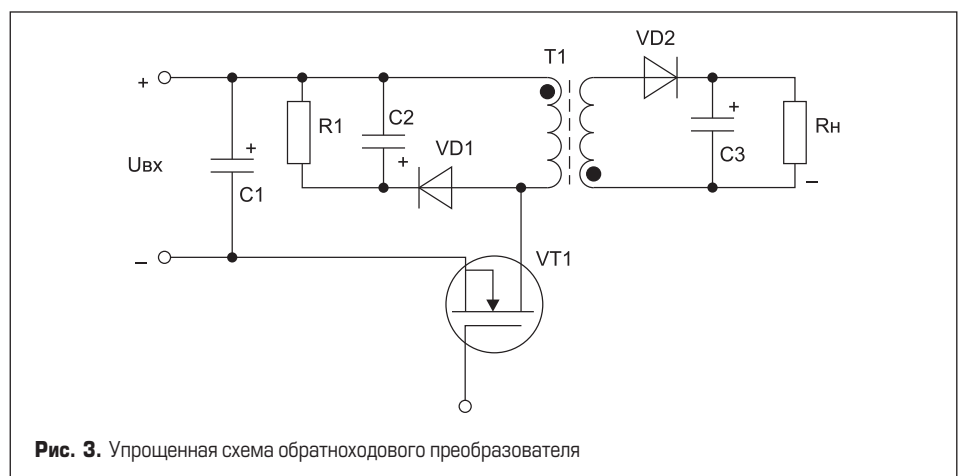


Рис. 3. Упрощенная схема обратного преобразователя

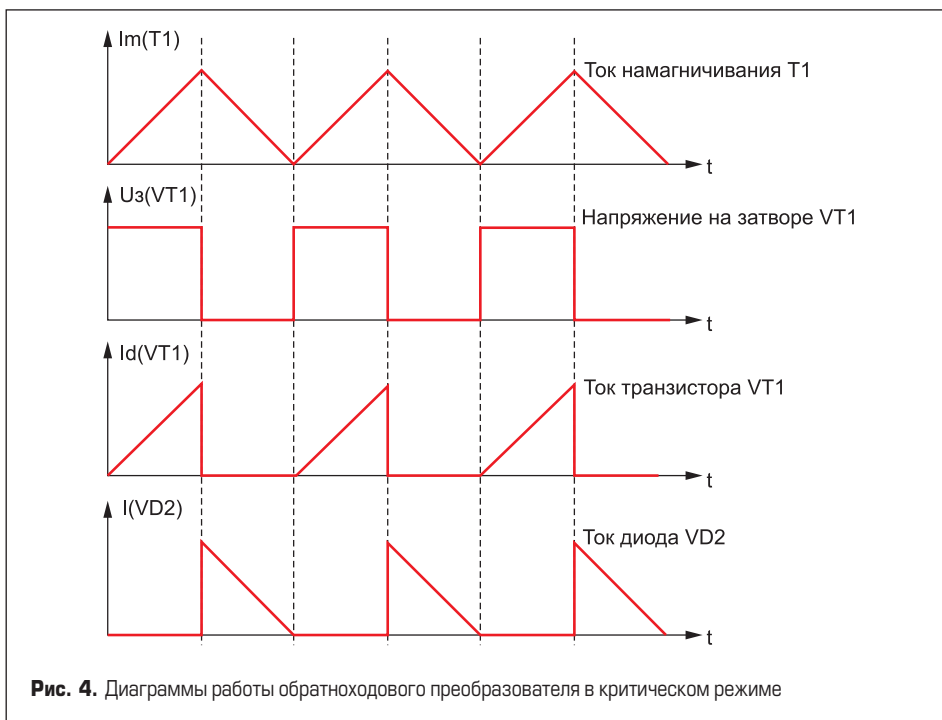


Рис. 4. Диаграммы работы обратноходового преобразователя в критическом режиме

Это требует увеличения габаритов и стоимости фильтров, что снижает конкурентоспособность изделия. Обычно в процессе включения транзистора создаются интенсивные помехи в широком диапазоне частот. В течение короткого времени происходит разряд паразитных емкостей — выходной емкости транзистора, межвитковой емкости трансформатора, барьерной емкости выходного диода Шоттки и др. Таким образом, «мягкое» включение приводит к значительному снижению уровня помех и способствует обеспечению электромагнитной совместимости.

- Определение момента включения транзистора может быть произведено с помощью дополнительной обмотки.

Индикатором при этом является пропадание напряжения на указанной обмотке при полном размагничивании трансформатора. Это дает возможность строить простые схемы управления на дискретных элементах без применения интегральных ШИМ-контроллеров. В конечном счете такой подход позволяет

снизить стоимость изделий, оптимизировать габариты, отказаться от применения сложных функциональных узлов и тем самым повысить надежность.

В соответствии с приведенной в [7] статистикой, наиболее уязвимыми и, следовательно, часто выходящими из строя являются силовые полупроводники — транзисторы и диоды. Если не рассматривать случаи явного превышения входного напряжения или неправильного включения, то наиболее вероятные причины выхода из строя можно разделить на две группы по виду воздействующего фактора:

1. Превышение предельных значений напряжений на силовом транзисторе и выпрямительном диоде.

Для исключения указанного механизма выхода из строя необходимо:

- a. обеспечить необходимые запасы по рабочим напряжениям транзистора и диода;
- b. принять меры для снижения индуктивности рассеяния трансформатора.

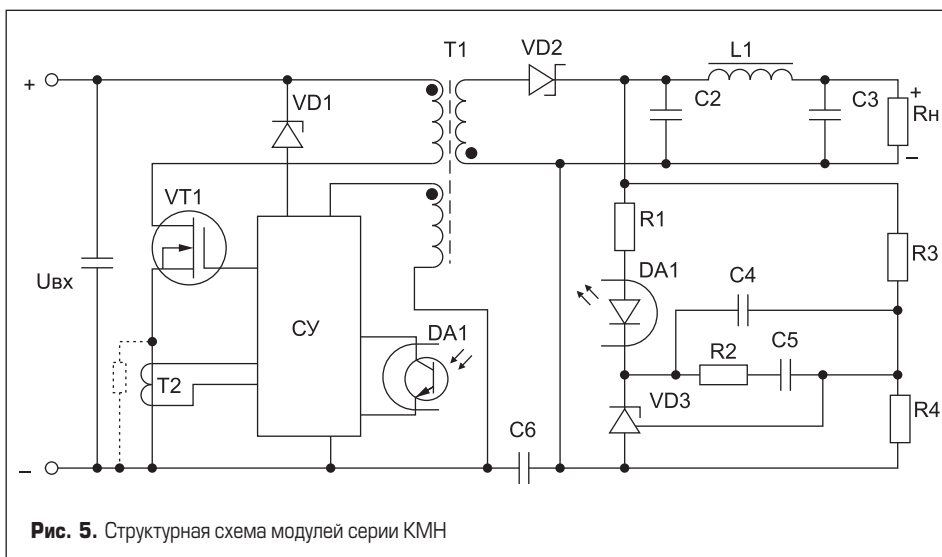


Рис. 5. Структурная схема модулей серии КМН

В серии КМН применяется технология сложной обмотки с чередованием слоев первичной и вторичной обмоток. Тем самым обеспечивается минимальное значение индуктивности рассеяния и снижение энергии в выбросе, наблюдаемом на стоке транзистора в момент его выключения.

2. Превышение токовой нагрузки на транзистор и выпрямительный диод.

Схема преобразователей серии КМН обеспечивает защиту как при превышении нагрузки, так и при длительном коротком замыкании. Механизм защиты обусловлен особенностями схемы обратноходового преобразователя. Поскольку во время интервала прямого хода, то есть при открытом транзисторе, вторичная обмотка отключена от нагрузки, ток транзистора должен возрастать линейно вместе с током намагничивания. В такой схеме резкое изменение тока может быть связано только с насыщением трансформатора. Таким образом, схема должна содержать элементы для измерения тока и недопущения аварийного режима. Анализ схемотехники модулей импортного производства показал, что далеко не все производители снабжают малоомощные модули цепями измерения тока и защиты по его превышению. Такой подход допустим для бюджетных преобразователей, встраиваемых в бытовую аппаратуру, но неприемлем для использования в аппаратуре специального назначения.

Структурная схема преобразователей серии КМН приведена на рис. 5. Схема содержит ключ VT1, трансформатор T1, выходной диод VD2. Обратная связь организована на базе источника опорного напряжения VD3 и оптопары DA1. Резисторы R3 и R4 образуют делитель выходного напряжения. Элементы R2, C4, C5 составляют цепь коррекции передаточной характеристики контура обратной связи. Выходной индуктивно-емкостный сглаживающий фильтр обеспечивает снижение уровня выходных пульсаций до 1% (не более 2% по документации). В данной схеме сигнал обратной связи по напряжению снимается с первого звена выходного фильтра, что обеспечивает устойчивую работу при изменении характера нагрузки и ее номинала в широких пределах.

Схема управления (СУ) построена на дискретных электронных компонентах и не содержит интегрального ШИМ-контроллера. Такой подход оправдывает себя при создании преобразователей малой мощности. Дело в том, что питание самого ШИМ-контроллера относительно стабильным напряжением требует наличия на схеме дополнительных элементов. Если при этом учесть необходимость «обвязки» ШИМ-контроллера, то общее количество элементов на схеме только возрастет. Главное, что применение упрощенной СУ не приводит к снижению точности установления выходных параметров, поскольку используется отдельный источник опорного напряжения VD3.

Дополнительная обмотка T1 не только обеспечивает определение момента перехода тока намагничивания через ноль,

но и выполняет функцию ограничительной цепочки. Поэтому, в отличие от схемы, приведенной на рис. 3, предлагаемая схема не содержит ограничительных цепей, подключаемых к стоку транзистора VT1.

В зависимости от выходной мощности и диапазона входного напряжения, для измерения тока используется резистивный шунт Rш или токовый трансформатор Т2. Использование токового трансформатора значительно снижает потери на шунте, что актуально для исполнений с низким входным напряжением и с выходной мощностью более 2 Вт, однако в отдельных случаях измерение тока трансформатором может происходить некорректно. Так, при низком входном напряжении рабочая частота преобразователя, работающего в критическом режиме, заметно снижается. Следствием этого может стать насыщение магнитопровода токового трансформатора либо скрадывание полезного сигнала током намагничивания. Для предотвращения подобных сбоев схема содержит цепи, блокирующие работу преобразователя при

пониженном входном напряжении. Порог пониженного напряжения задается с помощью стабилитрона VD1.

При разработке серии КМН был проведен тщательный анализ применяемых технических решений. Использование инструментов компьютерного моделирования позволило исследовать работу схемы в различных, в том числе наиболее сложных и аварийных, режимах. Параметры преобразователей серий КМН удовлетворяют современным требованиям и не уступают лучшим зарубежным аналогам. В то же время достигнутые параметры надежности (наработка до отказа в типовом режиме эксплуатации не менее 50 тыс. ч) делают новые преобразователи оптимальным выбором для применения в составе отечественного оборудования как общего, так и специального назначения. Планируется изготовление модулей с категорией качества ВП. Более подробную информацию о серии КМН, а также о другой продукции компании «КВ

Системы» можно получить на сайте производителя [8].

Литература

1. Миниатюрные изолированные DC/DC-преобразователи. Серия КМН. www.kwsystems.ru/#!/kmb/c4q0
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
3. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
4. Keith Billings, Taylor Morey. Switchmode Power Supply Handbook, Third Edition. McGraw-Hill, 2011.
5. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера. 2005.
6. Главное — не перегреть! Силовые модули для гибридного и электрического транспорта // Силовая электроника. 2010. № 4.
7. Ray Ridley. Results of a power supply failure survey. www.powersystemsdesign.com/results-of-a-power-supply-failure-survey
8. www.kwsystems.ru