

# Проблемы импортозамещения в производстве импульсных источников питания

ООО «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК  
ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ»

**В статье рассматривается влияние электронной компонентной базы на потребительские качества продукции, вопросы импортозамещения и пути повышения стойкости к спецфакторам в производстве импульсных источников питания.**

**Алексей Тифлов**

В 2022 году исполняется 30 лет, как ООО «Александр Электрик источники электропитания» (АЭИЭП) занимается разработкой и производством импульсных модулей электропитания (МП), блоков на их основе и фильтров как для гражданских применений, так и в военной технике. Основной объем продукции занимают поставки в ВПК.

В начале деятельности широко использовались оригинальные комплектующие, выпущенные на фабриках Европы и Америки, и повторяемость серийных МП была достаточно высокой. Сегодня большинство производственных площадок перенесено в Китай, и качество электронной компонентной базы (ЭКБ) заметно упало. Надо сказать, что продукция АЭИЭП примерно на 70% состоит из импортной комплектации, и выпуск серийных МП иногда давал сбои из-за несвоевременных и некачественных поставок комплектующих. Для решения этих проблем перестраивалась работа с поставщиками и осуществлялся постоянный мониторинг ЭКБ. Статистика отказов скрупулезно собиралась и анализировалась. Разрабатывались собственные стенды для проверки практически всей ЭКБ. В настоящее время активные элементы подвергаются 100-ной проверке, пассивные — выборочно или по мере необходимости. В отдельных случаях, по согласованию с военной приемкой (ВП), практикуется замена на элементы собственного производства — так проще и надежнее контролировать качество, но, к сожалению, в ущерб массогабаритному показателю.

Для оценки потребительских качеств продукции необходимо определить критерии, которым должен соответствовать современный импульсный источник питания (ИИП). Это прежде всего высо-

кая надежность в рабочих и аварийных режимах, показатели удельной мощности и КПД на современном уровне. ИИП должен иметь минимальный вес, стабильность заданных параметров выходного напряжения, приемлемую стоимость не создавать помех [1].

Создать такой источник непросто, тем более что некоторые критерии противоречивы. Решить эти задачи можно только на базе качественных электронных компонентов.

Для достижения высокого показателя удельной мощности необходимо увеличение рабочей частоты преобразования, при этом уменьшаются размеры и масса точных изделий, фильтрующих конденсаторов, снижается уровень генерации паразитных помех за счет сокращения размеров печатной платы, улучшается качество выходного напряжения при работе на динамическую нагрузку, снижаются пульсации. Но при этом ухудшается общий КПД — возрастают тепловые потери в сердечниках, динамические потери в полупроводниковых элементах, конденсаторах. Эффективный отвод тепла с небольшого объема затрудняется, и возникают локальные перегревы. Требования к скорости срабатывания защиты возрастают. Все это приводит к существенному снижению надежности модуля питания.

Выбор оптимальных компромиссов и накопленный опыт позволяют на практике получать желаемые свойства ИИП. Для реализации этих задач требуется применять самую современную элементную базу. На предприятии существует ограниченный перечень электронной компонентной базы иностранного производства (ОП ЭКБИП), разрешенный к применению в военной технике и утвержденный ФГБУ «46 ЦНИИ» МО. К настоя-

шему моменту назрела необходимость в значительном расширении ОП ЭКБ ИП, и работы в данном направлении ведутся.

Еще недавно применение импортной электронной компонентной базы в отечественной электронике было повсеместным. Однако в последнее время в связи с усилением санкций со стороны ряда западных стран требования по максимально возможному исключению иностранных комплектующих в отечественной продукции ужесточаются. Особенно эта тенденция заметна в ВПК, где высокая зависимость военной техники от импортной ЭКБ считается недопустимой. Директиву по импортозамещению необходимо выполнять. Однако...

Ряды модулей электропитания создаются не в одночасье, и не один год требуется для проведения широкого спектра испытаний. Необходимо проводить коррекции в схемотехнике, в ЭКБ, технической документации, пока наконец ряды не достигнут серийного производства.

Еще одно важное условие, которому должен отвечать МП в нашем случае, — он должен быть собран на отечественных комплектующих, разрешенных для применения в военной технике, из Перечня ЭКБ.

Казалось, если взять хорошо отработанную серию, заменить весь импорт отечественной комплектацией, вопрос с импортозамещением будет решен. Но не все так просто.

Анализ Перечня ЭКБ показывает, что зачастую полного аналога подобрать не удается.

Выбранный элемент с близкими электрическими параметрами имеет другой корпус и большие размеры. Это касается силовых транзисторов, микросхем, диодов, керамических конденсаторов, что, в свою очередь, ведет к переработке печатных плат. Массогабаритный параметр резко ухудшается. Как на это посмотрит потребитель, тем более если это касается бортовой сети? Риторический вопрос. И не факт, что подобный модуль заработает точно так же. Изменение топологии печатной платы тоже требует длительной отработки. Модуль питания, являясь достаточно энергонапряженным устройством с большим уровнем помех, может и по электропараметрам перестать удовлетворять техническим условиям (ТУ). МП с отличающимися характеристиками потребует изменений всего комплекта документации и не в лучшую сторону, что неприемлемо.

В течение последних 5–7 лет заметно расширение номенклатуры отечественных полупроводниковых изделий, указанных в Перечне ЭКБ. Некоторые позиции, необходимые для выпуска ИИП, стали появляться от разных отечественных производителей, предоставляя выбор разработчикам.

Следует отметить АО «Ангстрем», которое наладило выпуск полевых транзисторов из Перечня ЭКБ с подтвержденными характеристиками по накопленной дозе и тяжелым заряженным частицам (ТЗЧ) в метал-

лопластмассовых корпусах. Типоразмер и электропараметры во многом соответствуют импортным. Ряд полупроводниковых изделий из Перечня ЭКБ с приемлемыми характеристиками предоставляют также АО «ВЗПП-С», АО «Группа Кремний Эл», ОАО «Интеграл». Но изменения происходят очень медленно, и их недостаточно. Российских производителей объединяет узкая номенклатура освоенных в производстве металлопластмассовых корпусов для широкого круга полупроводниковых изделий. Например, в корпусе КТ-46 (SOT23) отсутствуют полевые транзисторы, стабилитроны, диоды Шоттки (имеется одна низковольтная позиция у «Интеграла», чего явно недостаточно), регулируемые стабилизаторы напряжения параллельного типа, детекторы напряжений, операционные усилители в пятиконтактном исполнении корпуса типа SOT23-5, микросхемы ШИМ-контроллеров в корпусах 4320.8-A (SO-8) и т. д. Аналогичная ситуация прослеживается и в силовых полупроводниковых изделиях — например, в корпусах TO247 нет мощных ультрабыстрых (ultrafast) диодных сборок, полевых транзисторов. Те же силовые ультрабыстрые диодные сборки, выполненные в корпусах КТ-28-2 (TO220) отечественных производителей, по статическим и динамическим характеристикам проигрывают лучшим импортным аналогам и т. д. И это лишь некоторые примеры.

Для большинства применений уровня «ВП» в военной технике необходимо обратить внимание на развитие широкого ряда металлопластмассовых корпусов для полупроводниковой ЭКБ. Испытания показали их достаточную устойчивость к температуре, вакууму, спецфакторам. Металлокерамические корпуса применяются из-за отсутствия альтернативы, хотя это явный проигрыш в цене и габаритах. Их использование оправдано в особо оговоренных случаях, что происходит не так часто.

Появление керамических конденсаторов с большой удельной емкостью дало сильный толчок в развитии ИИП. Без них сейчас немислимо представить производство современного качественного электропитания, и потребность в них неуклонно возрастает. Основные производители продукции качества «ВП» — АО «НИИ «Гириконд» и ОАО «ВЗРД «Монолит» — выпускают достаточно широкую гамму номиналов керамических конденсаторов для построения ИИП. Но такой показатель, как произведение емкости на напряжение на конкретный типоразмер, существенно уступает лучшим зарубежным аналогам. При необходимых схемотехнических решениях в части улучшения электропараметров питания требуется установка значительной емкости, что ведет к резкому ухудшению массогабаритного показателя. При этом качество конденсаторов оставляет желать лучшего. Нередко наблюдаются случаи выхода из строя по различным причинам, вызванным недоработкой производителя.

Выпуск ЭКБ с приемкой 5 на некоторых предприятиях происходит неритмично. Производство останавливается и запускается вновь по мере необходимости. Существенного улучшения качества продукции удается добиться, как правило, в режиме непрерывного производства.

Для выпуска МП используется фольгированный высокотемпературный стеклотекстолит до +170 °С марки FR-4 с толщиной 1,5–2 мм и медью от 105 мкм. Ни для кого не секрет, что он закупается в Китае, поскольку не существует российского производства...

А вот что объединяет всех российских производителей комплектации — это очень большие сроки поставки, существенно больше, чем из Китая, и которые в конечном итоге влияют на время выполнения ответственных заказов.

Несмотря на все сложности по импортозамещению, ООО «АЭИЭП» проводит ряд мероприятий по уменьшению зависимости от комплектующих иностранного производства. Некоторые серии МП и модулей защиты и фильтрации (МЗФ) для перевода их на отечественную ЭКБ подверглись кардинальной переработке конструкции, схемотехники и сопроводительной документации. Основная трудность заключалась в том, чтобы не ухудшить электрические параметры и массогабаритный показатель, а также сохранить порядок контактов, присоединительные и установочные размеры.

В ряду выпускаемой продукции имеется линейка модулей МДМ, выполненных полностью на отечественной элементной базе с приемкой «5». МП изготавливаются в соответствии с БКЮС430609.001-01 ТУ литера А, присутствуют в Перечне ЭКБ-2020 и производятся на входные сети 12, 27, 60 В, выходной мощностью 7,5–120 Вт. В ТУ имеется информация по стойкости к спецфакторам 7.И, 7.С, 7.К. В настоящее время подготовлены документы на включение в указанные ТУ новой линейки модулей серии МДМ-П, расширяющей функциональные возможности и выходную мощность до 5–200 Вт [2].

Для питания электронного оборудования, содержащего прецизионные аналоговые узлы, совместно с МП применяются модули защиты и фильтрации. Помимо улучшения электромагнитной совместимости, осуществляется эффективная защита аппаратуры от опасных перенапряжений, возникающих в питающих сетях. В этом направлении АЭИЭП были разработаны и выпускаются МЗФ серий МРМ, МРО БКЮС.468240.003-01 ТУ на основе российской ЭКБ качества «ВП». Указанные серии включены в Перечень ЭКБ.

В последнее время в космических аппаратах (КА), помимо сети 27 В, все чаще используется бортовая сеть 100 В на основе солнечной батареи с аккумулятором в буферном режиме. Диапазон изменения входной сети, как правило, не превышает ±5%. Для подобной сети в Перечне ЭКБ наблюдается острый дефицит в источниках электропитания.

В номенклатуре продукции АЭИЭП есть модули питания, выполненные в соответствии с БКЮС.436437.004 ТУ, приемка «5», литеры О1 на сети с номинальными напряжениями 110, 160, 230 В, однако данные о стойкости к спецфакторам отсутствуют. Предварительно проведенный анализ комплекствующих выявил слабое звено: ключевой транзистор импортного производства не имел сведений по стойкости к факторам «И», накопленной дозе (НД) и тяжелым заряженным частицам (ТЗЧ). На базе АЭИЭП была произведена замена его на силовой ключ производства АО «Ангстрем» с подтвержденными характеристиками по стойкости к факторам «И», ТЗЧ и НД. Затем было принято решение подвергнуть испытаниям на дозовые эффекты и провести анализ на стойкость к ТЗЧ отобранных модулей из указанной серии в количестве двух штук.

Испытания показали, что для всех образцов выборки значения всех контролируемых параметров по критерию годности соответствовали установленным нормам вплоть до уровня суммарной дозы 283,15 крад. Экспериментально установлено, что уровень стойкости партии МП к воздействию протонного и электронного излучений космического пространства (КП) по дозовым эффектам составил не менее 140,98 крад [3].

Аналогичные испытания проводятся для серий: МДМ БКЮС.430609.001-01 ТУ из Перечня ЭКБ, МДМ30-МДМ320 БКЮС.436437.004 ТУ на сеть 100 В. Ожидаемая стойкость к спецфакторам КП составляет не менее 100 крад и ТЗЧ — не менее 60 МэВ.

Иногда для решения определенного круга задач возникает необходимость организовать распределенную систему электропитания. Она представляет собой источник электропитания достаточной мощности, подключенный к первичной сети, например напряжением 100 В, который формирует общую шину 27 В. Общая шина, в свою очередь, обеспечивает электропитанием ряд МП, чьи выходные напряжения могут иметь самые разные значения и располагаются в непосредственной близости от своих нагрузок. Потребность в такой системе возникает при сеансовых режимах работы, например в КА, когда требуется в различных комбинациях управлять включением или отключением некоторого количества локальных узлов электронного оборудования для уменьшения общего потребления электроэнергии бортовой аппаратурой. Требование гальванической развязки отсутствует, и модули питания можно сделать малогабаритными с необходимой мощностью и высоким КПД. Для решения таких задач в АЭИЭП разработаны и проходят заключительные этапы ОКР модули питания серии МДС, представляющие собой понижающие стабилизаторы на выходные токи 5 и 12 А, КПД достигает 97%. Рабочая частота преобразования 350 или 900 кГц. Входная сеть 4,5–50 В, выходные напряжения в диапазоне 1–9 В. МП уже выпускаются с приемкой ОТК, продолжаются испытания по регламентам приемки «5», и в дальнейшем планируется их внесение в Перечень ЭКБ [4].

В настоящий момент закончены ОКР на модули питания МАА, МДД и подготовлены документы на внесение в Перечень ЭКБ. Испытания на спецстойкость проведены в г. Лыткарино с положительным ре-

зультатом на характеристики 7И<sub>1</sub>, 7И<sub>6</sub>, 7И<sub>7</sub> по уровню  $1U_c$  согласно ТЗ. Для определения предельных значений испытания продолжались до первого отказа. Выход из строя произошел на уровне  $2U_c$ .

В заключение хотелось бы отметить, что основное направление деятельности ООО «АЭИЭП» заключается в выпуске продукции, которая наиболее полно отвечает бы запросам и потребностям заказчиков. На основе этого строятся планы предприятия по разработке новых рядов модулей электропитания, блоков питания, модулей защиты и фильтрации и включению их в Перечень ЭКБ. Один из приоритетов предприятия — повышение качества выпускаемой продукции на основе прямых контактов с заказчиками. Но всего этого невозможно достичь без обоюдного стремления к тем же целям российских предприятий — производителей отечественной ЭКБ.

### Литература

1. Счисленок Л. Как разработчику РЭА быстро оценить надежность и функциональные возможности модуля питания // Силовая электроника. 2020. № 3.
2. Александр Электрик источники электропитания. [www.aeip.ru](http://www.aeip.ru).
3. Протокол испытаний модулей питания БКЮС.436437.004ТУ на дозовые эффекты. 2018.
4. Александр Электрик источники электропитания. Современные направления развития преобразовательной техники. Обзор новых разработок ООО «АЭИЭП». Сб. статей. Вып. 5. М., 2019.