

Переходные отклонения в унифицированных модулях питания:

проблемы и решения

В статье рассматриваются вопросы, связанные с переходными отклонениями выходного напряжения в унифицированных модулях питания при скачкообразном изменении выходного тока, их зависимость от величины выходного напряжения и способы уменьшения.

Анатолий Миронов

Унифицированные модули питания (УМП) получили широкое распространение в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) благодаря значительному сокращению сроков проектирования ее систем электропитания. Применяя УМП, вопросы проектирования средств электропитания можно решать быстро, набирая нужную структуру, как из детских кубиков. При этом все модули питания идеально сопрягаются между собой по электрическим характеристикам и уже имеют требуемые для применения разрешительные документы.

УМП обычно представляют собой линейку одно-, двух- или трехканальных модулей различной мощности. Для минимизации затрат на разработку каждый номинал мощности для разных выходных напряжений разработчик старается реализовать на одной и той же плате. При этом модули одной мощности, но разных выходных напряжений часто имеют одну и ту же схему, частоту преобразования, один и тот же набор унифицированных элементов. Так, УМП выходной мощностью 5–25 Вт на диапазон выходных напряжений 2,5–36 В обычно реализуются по схеме обратного преобразователя. Разница лишь в том, что на выходные напряжения 2,5–9 В силовой выпрямитель, предназначенный для уменьшения потерь, может быть синхронным на МДП-транзисторе, а при больших выходных напряжениях — обычным диодным.

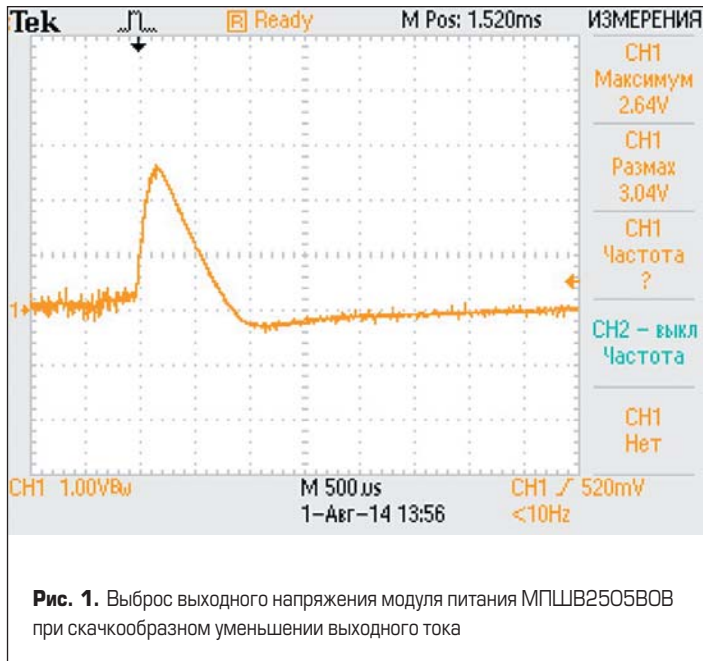
Спроектированная однажды линейка УМП производится многие годы в неизменном виде, а требования к РЭА постоянно меняются, и обычно в сторону ужесточения. Кроме того, появляются новые направления РЭА, классы потребителей со своими

специфическими задачами, которые вступают в противоречия с возможностями серийно выпускаемых УМП. К таковым сегодня можно отнести, например, импульсные нагрузки типа узлов радиолокационных станций с активной фазированной антенной решеткой (РЛС с АФАР), импульсные зарядные устройства, различные импульсные регуляторы и другую аппаратуру.

Пожелания потребителей постоянно расширяются в сторону больших мощностей и низких выходных напряжений, то есть значительно увеличиваются выходные токи. Такие нагрузки предъявляют, помимо прочего, особые требования к динамической стабильности выходного напряжения, которую можно характеризовать величиной переходных отклонений (ПО) при изменении выходного тока — основной динамической характеристики УМП.

Величина ПО и методика их измерения нормируется в ГОСТах [1, 2] и для УМП общего применения составляет 10% от номинального значения выходного напряжения при скачкообразном изменении выходного тока от 0 (10%) до 100% от номинального выходного тока. Наиболее информативным параметром является ПО при скачкообразном изменении тока нагрузки. Далее речь пойдет о ПО при скачкообразном уменьшении выходного тока, как наиболее важном динамическом параметре. При этом на выходе УМП формируется выброс напряжения, который при больших значениях ПО может даже вывести из строя РЭА.

Проанализируем, как выполняют эти требования УМП разных отечественных производителей. На рис. 1 показаны ПО УМП МПШВ2505ВОВ производства НПП «Элтом» (входное напряжение 18–75 В,



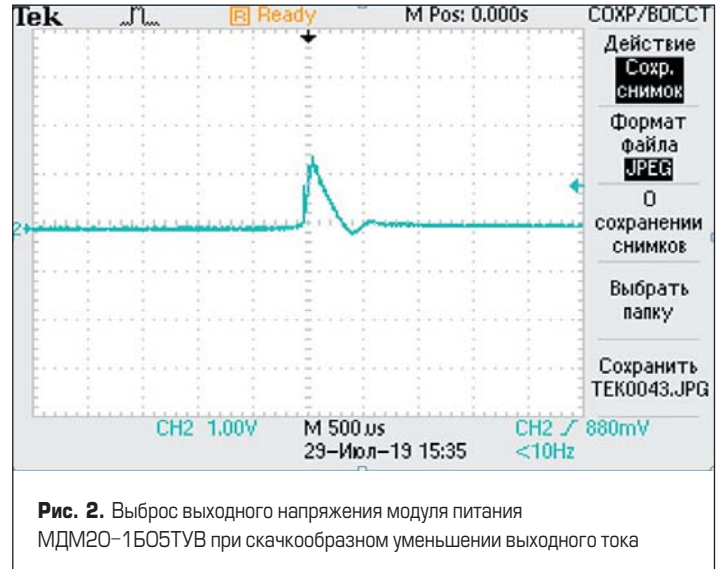
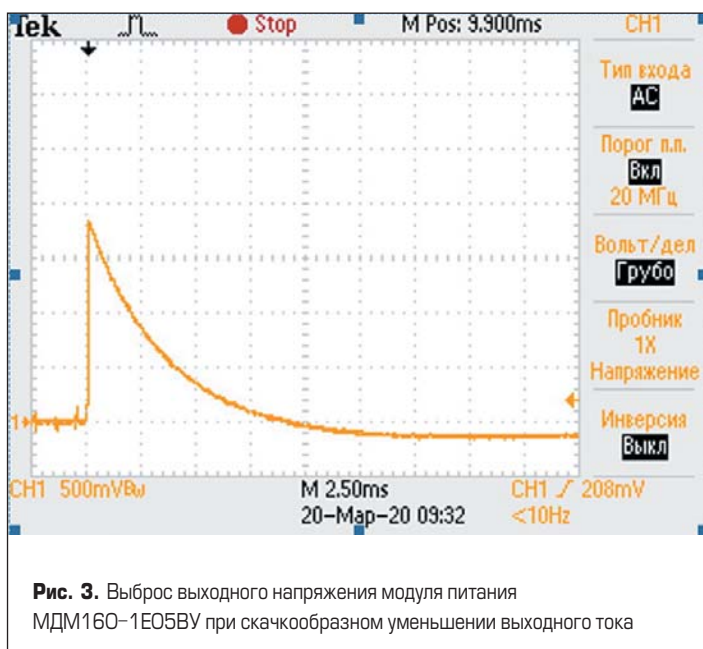
выходное напряжение 5 В, номинальный выходной ток 5 А, частота преобразования около 200 кГц).

При входном напряжении 18 В переходные отклонения превышают 50%! При питании от такого модуля РЭА на цифровых микросхемах выброс напряжения питания доходит до 7,6 В, что может просто вызвать ее отказ! С увеличением входного напряжения ПО уменьшаются до 30% при максимальном входном напряжении (выброс напряжения питания достигает 6,5 В), что все равно не решает проблемы!

Несколько лучшие характеристики имеют УМП производства ООО «АЕДОН». В аналогичных УМП МДМ20-1Б05ТУВ (входное напряжение 10,5–36 В, выходное напряжение 5 В, номинальный выходной ток 4 А, частота преобразования 285 кГц) при минимальном входном напряжении ПО составляют 28%, при максимальном значении входного напряжения — 20% (рис. 2).

В рассмотренных случаях требования ГОСТов тоже не выполняются. И так ведут себя маломощные УМП! Чего же можно ждать от ПО модулей мощностью 500–1000 Вт?

Но может быть это такие значения ПО записаны в ТУ на данные приборы? Нет! Везде имеется одно и то же условие: ПО не должны превышать 10% от номинального выходного напряжения. Как же разработчики УМП выходят из положения? Они применяют «военную хитрость». И те и другие предлагают измерять ПО при «скачкообразном»



изменении выходного тока, но с фронтом не менее 1 или 0,5 мс соответственно!

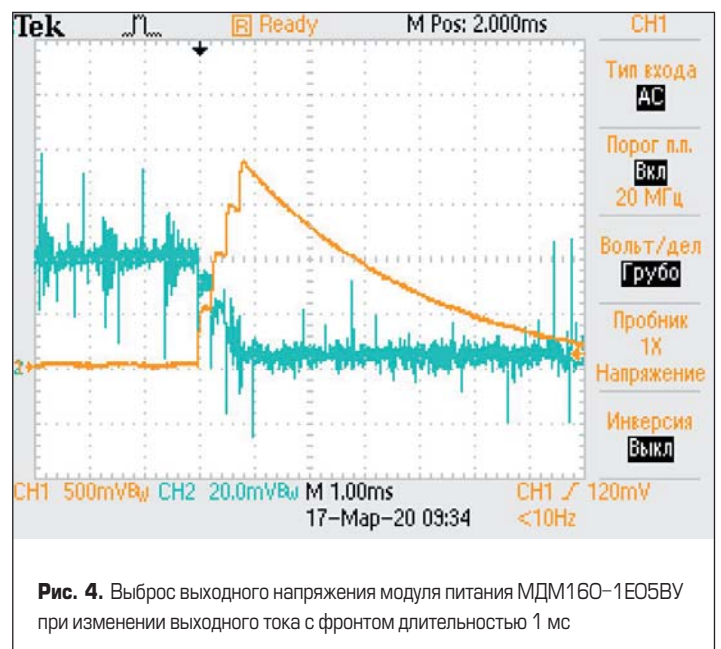
Конечно, относительно медленное изменение выходного тока позволит несколько уменьшить значение ПО, но такой метод измерения нельзя назвать корректным. Это напоминает попытку школьника подогнать неправильно решенную задачу под ответ, который есть в конце учебника. И главное — такой способ измерения ПО не дает потребителю информации о действительных динамических параметрах УМП.

Кстати, требование к длительности спада тока за время 0,5–1 мс также не всегда выручает. Для проверки был взят аналогичный УМП МДМ160-1Е05ВУ с выходным напряжением 5 В и номинальным выходным током 25 А. На рис. 3 показан переходный процесс на выходе при скачкообразном уменьшении выходного тока с 25 до 2,5 А.

ПО составляют 36% от номинального значения выходного напряжения. Сравнение ПО не совсем корректно, так как мощность УМП в 7–8 раз превышает мощность вышеупомянутых модулей. На рис. 4. изображен переходный процесс того же УМП при длительности спада выходного тока 1 мс.

Величина ПО практически не изменилась, и лишь при фронте длительностью 10 мс (рис. 5) она заметно уменьшилась. Но и тут ПО составляют 12% от номинального значения выходного напряжения.

И только при фронте длительностью 25 мс (рис. 6) ПО вошли в норму и составили 6% от номинального значения выходного напряжения.



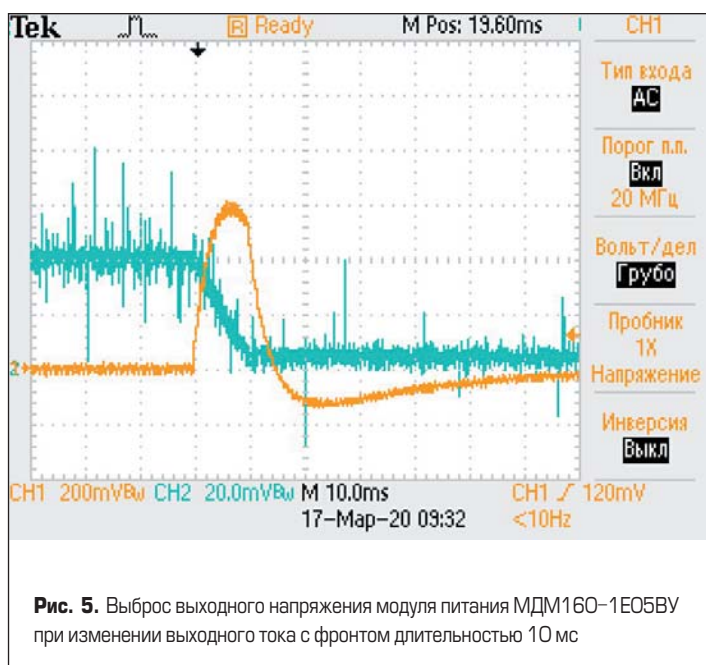


Рис. 5. Выброс выходного напряжения модуля питания МДМ160-1Е05ВU при изменении выходного тока с фронтом длительностью 10 мс

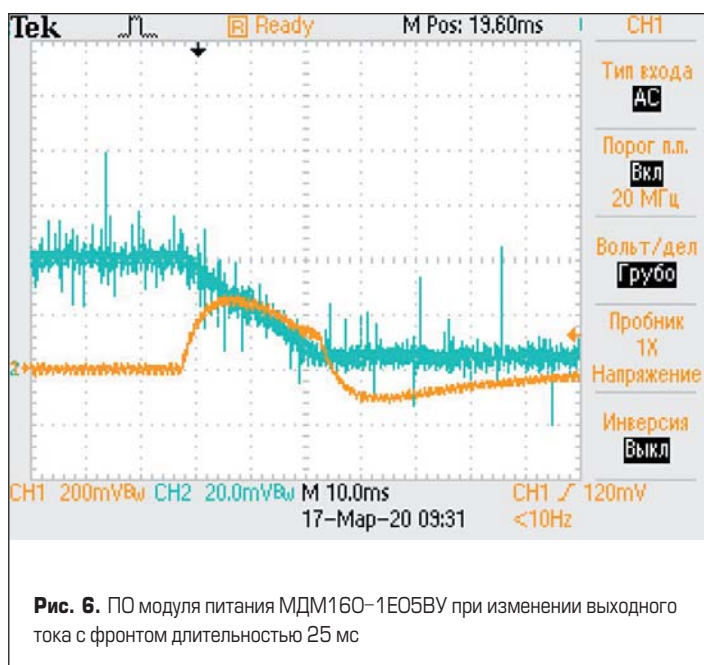


Рис. 6. ПО модуля питания МДМ160-1Е05ВU при изменении выходного тока с фронтом длительностью 25 мс

Как видно из представленных осциллограмм, при таком способе нормирования переходных отклонений для УМП каждой мощности необходимо указывать свое значение длительности спада выходного тока даже для того, чтобы «подогнать результат под ответ».

С уменьшением выходного напряжения (увеличением выходного тока) в УМП наблюдается рост значения ПО для модуля одной и той же мощности. Поясню, почему это происходит. Еще одна особенность УМП — уменьшение энергии, запасаемой конденсаторами выходного фильтра, со снижением величины выходного напряжения модуля. Пусть, например, в выходном фильтре используются конденсаторы типа К53-22 максимального размера и с двукратным запасом по напряжению. Для выходного напряжения УМП $U_{\text{ВЫХ}} = 27 \text{ В}$ устанавливаются конденсаторы К53-22 50 В 4,7 мкФ. Энергия W , запасаемая в конденсаторе, пропорциональна значению $C \times U^2$ и составляет для одного конденсатора $4,7 \times 27^2 = 3426$ условных единиц. Для выходного напряжения УМП $U_{\text{ВЫХ}} = 5 \text{ В}$ устанавливаются конденсаторы К53-22 10 В- 47 мкФ. Энергия, запасаемая в конденсаторе, составит $47 \times 5^2 = 1175$ условных единиц. Втрое меньше!

Это означает, что динамические характеристики УМП с выходным напряжением 5 В (амплитуда пульсаций выходного напряже-

ния при одном и том же выходном токе, переходные отклонения при изменении тока нагрузки) при таком же количестве конденсаторов выходного фильтра будут как минимум втрое хуже, чем такого же УМП с выходным напряжением 27 В. Как минимум, поскольку здесь не учитывается эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора, наличие которого только ухудшает результат. Если бы УМП разрабатывался специально под такую динамическую нагрузку, в выходной фильтр поставили бы столько конденсаторов, сколько их нужно, чтобы обеспечить требуемые значения ПО. Но тогда получился бы специализированный модуль питания, а не УМП. Кстати, упомянутый выше модуль питания МДМ160-1Е05ВU, но с выходным напряжением 27 В, при скачкообразном изменении выходного тока от 6 до 0,6 А имеет ПО менее 6%.

Почему же разработчики УМП обходят вниманием такой параметр, как ПО? Причин несколько. Одна из наиболее весомых такая. «Правила хорошего тона» требуют, чтобы потребление тока нагрузкой от УМП было примерно постоянным, даже если собственно нагрузка имеет импульсный характер. Импульсные потребляемые токи создают в подводящих проводах помехи, дополнительные потери, генерируют излучение, так что от них лучше избавляться там, где они возникают, то есть в нагрузке. Если потребление нагрузки импульсное, потребителям рекомендуется установить на входе необходимые фильтры или хотя бы конденсаторы, которые сгладят импульсы потребляемого тока. Если же это невозможно, значит УМП для этого прибора не подходит. Необходимо разрабатывать специальный узел питания такой нагрузки, а это — время и затраты со стороны потребителей. Вот обе стороны и идут на компромисс.

Сохранить потребителей и удовлетворить требования ГОСТов можно, если разработать структуру УМП, обеспечивающую требуемые ПО независимо от мощности и величины выходного напряжения. В [3] рассматриваются вопросы формирования ПО преобразователя напряжения, который разрабатывался специально в расчете на импульсную нагрузку. Для того чтобы получить необходимые значения ПО, частота преобразования увеличена до 900 кГц. Такая мера позволяет установить силовой дроссель с малой индуктивностью, а следовательно, и с малым значением запасаемой в нем энергии. При скачкообразном уменьшении выходного тока с 15 А до нуля ПО преобразователя МДС12-1Е09 с выходным напряжением 9 В составляют всего 3,3% (300 мВ) без дополнительных конденсаторов на выходе (рис. 7).

Если же УМП уже разработан, для уменьшения ПО его структуру необходимо скорректировать. Возможны следующие способы решения этой задачи.

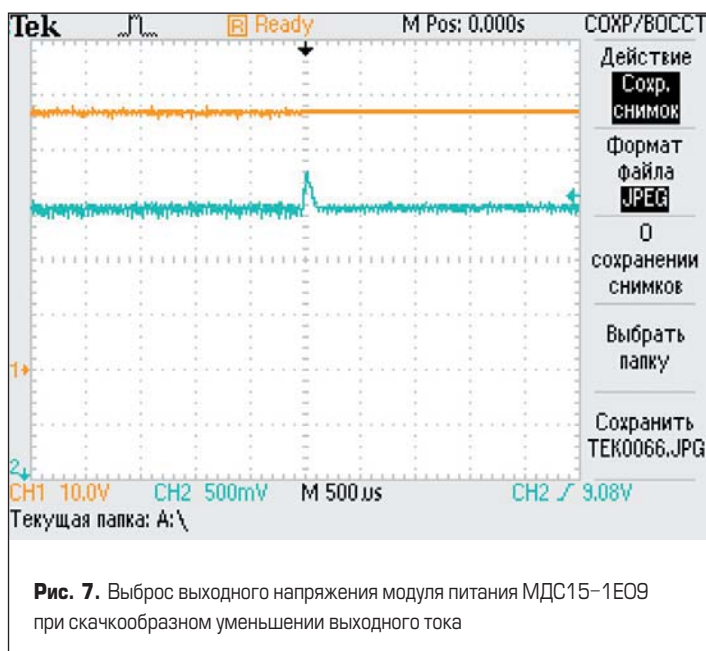


Рис. 7. Выброс выходного напряжения модуля питания МДС15-1Е09 при скачкообразном уменьшении выходного тока

1. Аккумуляция энергии выброса выходного напряжения с рекуперацией ее на выход.
2. Рекуперация энергии выброса выходного напряжения на вход.
3. Демпфирование выброса выходного напряжения.

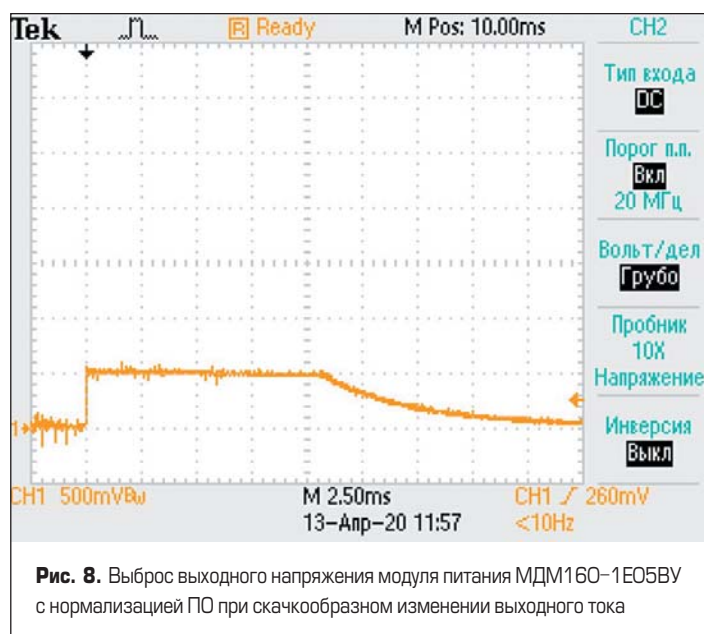
Первый способ реализуется без потерь и введения дополнительных узлов, например, подключением дополнительных конденсаторов на выход УМП. Способ работает при любой скважности импульсов потребляемого тока. Однако такой подход не всегда возможен, поскольку емкость этого конденсатора может быть такой, что УМП не будет в состоянии ее зарядить при запуске. За этим разработчику УМП необходимо постоянно следить. Кроме того данные конденсаторы в УМП еще где-то надо разместить! Можно подключать дополнительные конденсаторы через ключ, открывающийся, когда ПО превышает некоторую установленную величину.

Второй способ также сохраняет энергию выброса, но требует наличия в составе УМП дополнительного преобразователя, который включается и рекуперировывает энергию выброса выходного напряжения на вход преобразователя, когда ПО превышает требуемый уровень. Алгоритм ограничения ПО работает также при любой скважности импульсов потребляемого тока. Но этот путь — значительное усложнение схемы УМП, дополнительные моточные узлы и потери в элементах преобразователя.

Третий путь наиболее простой. Он применяется при большой скважности импульсов выходного тока, так как энергия выброса выходного напряжения рассеивается в демпфере.

Сложность решения задачи усугубляется и тем, что УМП обычно имеют дополнительный вывод регулировки выходного напряжения в диапазоне 5–10% относительно номинального значения выходного напряжения, а мощные УМП — к тому же и выводы выносной обратной связи (ОС). Узел нормализации ПО должен автоматически перестраиваться при изменении выходного напряжения УМП потребителем или ОС.

Описанные пути решения задачи нормализации ПО УМП позволяют при необходимости снять ее с повестки дня. На рис. 8 показан переходный процесс на выходе того же УМП, что и на рис. 3, при



скачкообразном изменении выходного тока с 25 до 2,5 А. Узел нормализации настроен на ПО на уровне 10%.

Литература

1. ГОСТ В 24425-90 «Источники электропитания вторичные унифицированные радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические требования».
2. ГОСТ РВ 6130-001-2018 «Источники электропитания в модульном исполнении. Модули функциональные. Общие технические условия».
3. Миронов А. А. Формирование оптимальной структуры системы электропитания АФАР // Компоненты и технологии. 2019. № 10.