

# Особенности работы ограничителя выбросов напряжения в бортовых системах электропитания

А. А. Миронов

Описываются алгоритмы работы и параметры ограничителей выбросов напряжения для авиационных систем электропитания сети постоянного тока. Описывается структура системы электропитания повышенной надежности и расширенных функциональных возможностей на основе ограничителей.

Надёжность систем электропитания (СЭП) летательных аппаратов (ЛА) является одним из основополагающих факторов безопасности полёта. Поэтому всегда предусматривается комплекс мер для надёжности функционирования бортовой СЭП. Далее будут рассматриваться СЭП от для сети постоянного тока напряжением 27 В с переходными отклонениями до 81 В (ГОСТ Р 54073-2010).

При проектировании преобразователей напряжения для сети постоянного тока с выбросами напряжения до 80 В разработчики идут двумя путями. Первый путь – использование в схемотехнике преобразователей напряжения силовых полупроводниковых элементов, способных надёжно работать при пятикратном изменении напряжения на входе преобразователя (минимальное входное напряжение  $U_{ВХ\text{ мин}} = 17\text{ В}$ , максимальное входное напряжение  $U_{ВХ\text{ макс}} = 36\text{ В}$ , выброс входного напряжения до 81 В в течение 1 секунды). Однако такая возможность реализуется применением высоковольтных силовых ключей и диодов, а, значит, и снижением КПД преобразователя. Второй путь – установка буферного устройства на входе преобразователей, способного ограничивать выбросы напряжения на уровне  $U_{ВХ\text{ макс}} = 36\text{ В}$  [1]. Двукратное изменение входного напряжения позволяет вдвое уменьшить напряжение на силовых ключах и диодах, что повышает КПД преобразователя и расширяет номенклатуру доступных силовых элементов.

Для реализации этой задачи существует специальный класс буферных устройств - ограничители выбросов напряжения (ОВН). Они выпускаются рядом отечественных и зарубежных фирм и подробно описаны в литературе [1-3].

На **рис. 1** и **рис. 2** демонстрируется алгоритм работы ОВН при переходных процессах, возникающих в реальных СЭП ЛА. Оранжевым цветом показаны осциллограммы входного напряжения, зелёным цветом – выходного.

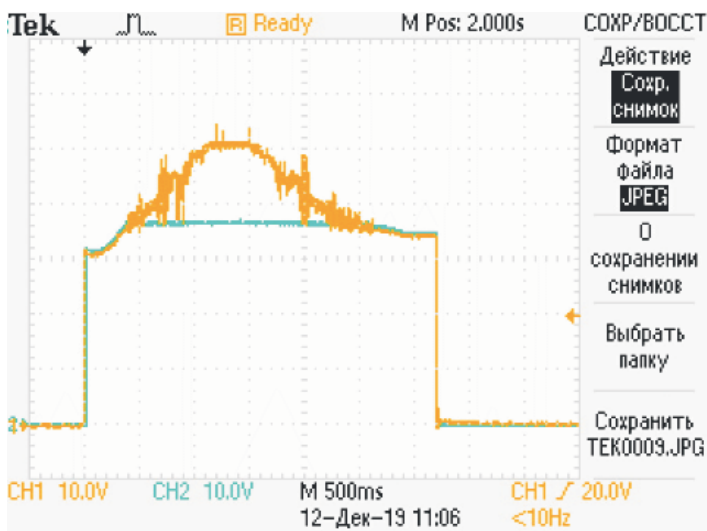


Рис. 1 Переходный процесс в СЭП с выбросом до 51 В с коммутационными помехами.

Амплитудное значение выброса напряжения на рис. 1 - 51 В, длительность переходного процесса чуть более 1 с. Нарастание и спад напряжения сопровождаются коммутационными высокочастотными помехами. Однако ОВН заметно сглаживает их, фиксирую выходное напряжение на уровне около 37 В.

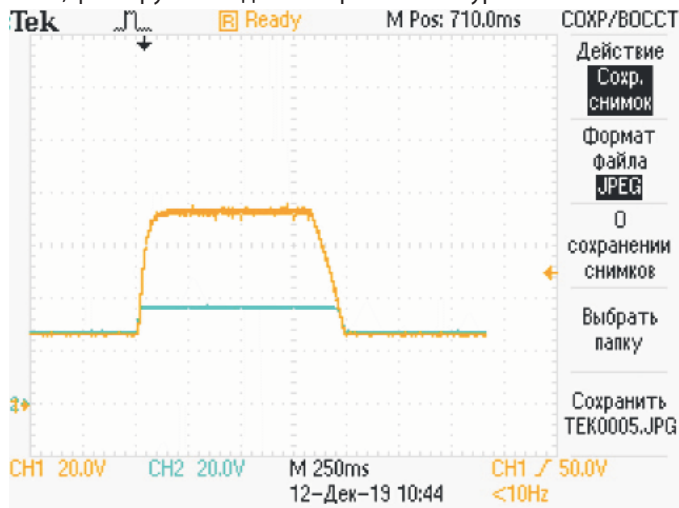


Рис. 2. Переходный процесс в СЭП с выбросом до 72 В.

Амплитудное значение переходного процесса на **рис. 2** достигает 72 В при длительности 1 с. На этот раз процесс проходит без коммутационных помех. Результат работы ОВН тот же.

По способу работы в режиме ограничения напряжения ОВН можно условно разделить на ОВН непрерывного способа ограничения и ОВН импульсного способа ограничения – импульсные ОВН [2]. Там же показано, что для нормализации значительной мощности наиболее перспективны ОВН импульсного типа. Далее речь пойдет только о ОВН импульсного типа.

Рассмотрим алгоритм работы и основные характеристики ОВН импульсного типа серии МДН производства ООО «АЭИЭП», функциональная схема которого показана на **рис. 3**. Она состоит из узла токовой защиты (УТЗ), ключа (КЛ), выходного фильтра (Ф), узла обратной связи (УОС).

ОВН при регулировке настраивается на максимальный ток  $I_{к\text{л макс}}$ , которым необходимо ограничить ток через ключ КЛ, и

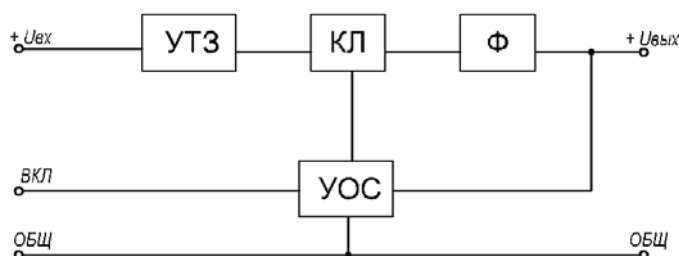
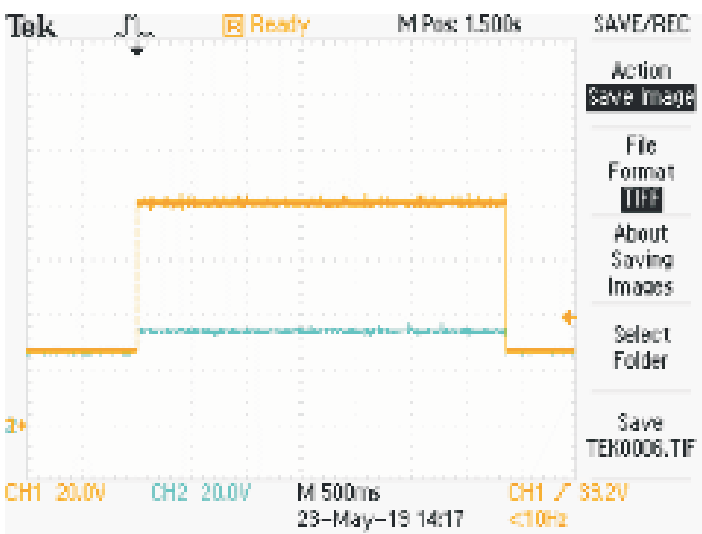


Рис. 3. Функциональная схема ОВН импульсного типа.

напряжение ограничения на выходе  $U_{огр} = U_{вых макс}$ . Это значение должно быть не более максимального входного напряжения для модулей питания, подключенных к выходу ОВН.

Работа ОВН в режиме ограничения выходного напряжения происходит следующим образом. При увеличении напряжения на выходе сверх значения  $U_{огр}$  узлом обратной связи УОС вырабатывается сигнал, переводящий ключ КЛ в импульсный режим работы, ограничивая, таким образом, среднее значение напряжения на выходе на уровне  $U_{огр}$ .

Ниже представлены осциллограммы работы ОВН типа МДН5ВУ (номинальный выходной ток 5 А) в режиме номинальной активной нагрузки (**рис. 4**). Переходные процессы входного напряжения в соответствии с ГОСТ Р 54073-2010 при проверке ОВН реализовать затруднительно. Гораздо проще реализовать скачкообразное изменение входного напряжения с максимальной амплитудой, тем более, что такой переходный процесс показывает предельные возможности ОВН. Оранжевый цвет – напряжение на входных контактах ОВН, зелёный – на выходных контактах ОВН.



**Рис. 4.** Работа ОВН МДН5ВУ при токе нагрузки  $I_{нагр} = 5$  А во время выброса входного напряжения с амплитудой 81 В.

Как видно из осциллограмм, выходное напряжение ограничивается на уровне около  $U_{вых} = 37$  В. Кроме того, перевод ключа КЛ в импульсный режим работы во время перенапряжения на входе позволяет значительно уменьшить выделяемую на нём мощность по сравнению ОВН с непрерывным способом ограничения и продолжительность перегрузки уже не имеет значения – к перегреву ключа КЛ она не приводит. На **рис. 4** она составляет более 3 с. При проверке ОВН регулировщик удерживает перегрузку в течение 8...10 с, необходимых ему для измерения необходимых параметров модуля без ущерба для последнего. Нечувствительность ОВН к длительности перенапряжения на входе по существу превращает прибор просто в ограничитель напряжения.

Таким образом, при работе модуля питания через ОВН его элементы защищены от перенапряжений, влияющих на выходное напряжение модуля питания в установившемся режиме работы также не зарегистрировано независимо от уровня нагрузки последнего.

При увеличении тока нагрузки сверх значения  $I_{кл макс}$  узлом токовой защиты УТЗ вырабатывается сигнал, размыкающий ключ КЛ на время задержки  $t_{зад}$ . По истечении времени  $t_{зад}$  ключ КЛ замыкается и процесс повторяется до тех пор, пока при очередном открытии ключа КЛ значение тока через него не достигнет значения  $I_{кл макс}$ . Ключ КЛ остаётся открытым, ОВН переходит в установившийся режим работы. Если этого не происходит в течение 5...8 мс, ОВН переходит в режим релаксации с частотой 100...150 Гц (**рис. 5**), работая пакетами импульсов. При этом амплитуда тока через ключ также ограничена.

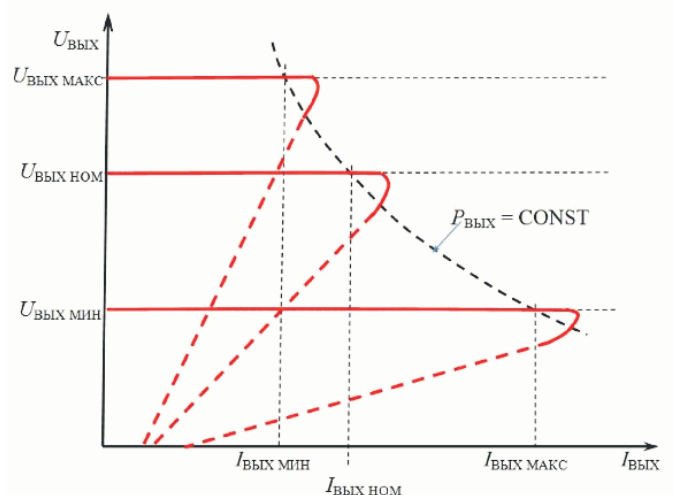
В режиме релаксации скважность «пакетов» импульсов, также как и скважность импульсов внутри «пакета», достигает 10, что



**Рис.5.** Работа ключа ОВН «пакетами» импульсов в режиме релаксации при коротком замыкании на выходе.

позволяет работать прибору в этом режиме длительное время опасности без перегрева силовых элементов. Средний входной ток в режиме релаксации не превышает  $0,1...0,2 I_{кл макс}$ . Таким способом ключ КЛ защищается от перегрузок по току, по каким бы причинам они не происходили. А это, в свою очередь, также снимает ограничение на продолжительность перегрузки и по току.

Нагрузкой ОВН могут быть различные устройства: импульсные преобразователи напряжения и тока, двигатели, нелинейные нагрузки типа «лампа накаливания». Для работы с импульсными преобразователями выпускается опция ОВН, в которой срабатывание защиты от перегрузки по току происходит иначе. Здесь при изменении входного напряжения изменение значения максимального тока ключа КЛ имеет обратно пропорциональный характер (**рис. 6**). Этот режим специально введён для работы ОВН на импульсные преобразователи напряжения, потребляемая на входе мощность которых примерно постоянна независимо от значения входного напряжения вследствие их высокого КПД. Этот режим подробно описан в [4,5]. В обозначении таких ОВН присутствует буква «Р». Например, ОВН МДН5ВУР имеет номинальный ток  $I_{ном} = 5$  А при входном напряжении  $U_{вх} = 27$  В. Значение максимального тока через ключ КЛ при таком входном напряжении составляет  $I_{кл макс} = 7$  А. Уменьшение напряжения на входе до 17 В влечет за собой увеличение значения максимального тока через ключ до  $I_{кл макс} = 11$  А. Увеличение напряжения на входе до 36 В приводит к уменьшению этого значения до  $I_{кл макс} = 5$  А.

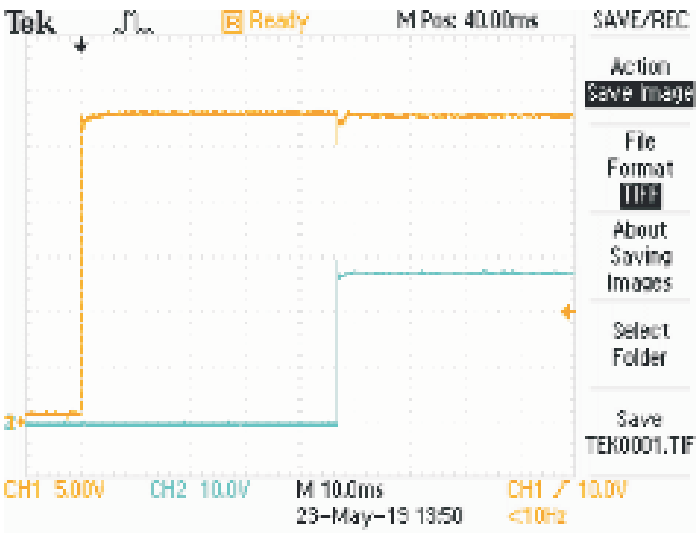


**Рис. 6.** Деформация выходной характеристики ОВН в режиме стабилизации максимальной мощности.

В установившемся режиме работы при входном напряжении  $U_{вх} < U_{огр}$  падение напряжения на ОВН  $U_{пад} = U_{вх} - U_{вых}$  изменяется пропорционально выходному току и имеет максимальное значение не более 300 мВ. Так, для ОВН МДН5ВУ максимальное значение составляет 260 мВ. При максимальном выходном токе в элементах ОВН выделяется суммарная мощность  $P_{макс} = U_{пад} \times I_{нагр\ макс}$ . Для пятиамперного ОВН МДН5ВУ это составляет не более 1,35 Вт. При этом максимальная передаваемая на выход мощность составляет 135 Вт! Поэтому температура перегрева относительно окружающей среды составляет 1...2 °C и в теплоотводе прибор не нуждается.

Из дополнительных возможностей ОВН можно отметить режим управления работой с помощью маломощного ключа (контакты реле, транзисторный ключ, выход типа «открытый коллектор» логической микросхемы). При замыкании на общий вывод вывода «ВКЛ» прибор выключен, при размыкании выводов прибор включен. В случае, когда управление включением не используется, вывод «ВКЛ» оставляют неподключенным.

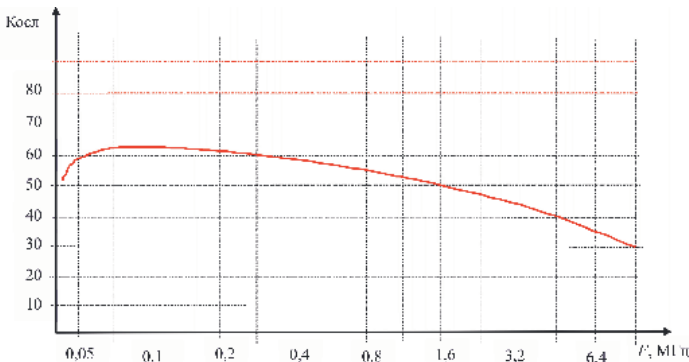
Особенностью схемотехники прибора является практически постоянное время включения, независимое ни от тока нагрузки, ни от величины входного напряжения, которое составляет около 50 мс. Осциллограмма включения ОВН МДН5ВУ при подаче входного напряжения показана на **рис. 7**.



**Рис. 7.** Включение ОВН МДН5ВУ подачей входного напряжения  $U_{вх} = 27$  В при выходном токе  $I_{вых} = 5$  А.

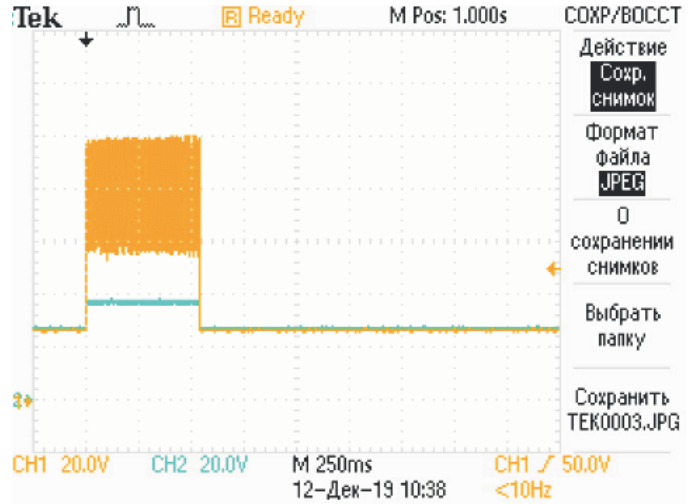
ОВН можно рассматривать как фильтр с нижней частотой помехоподавления  $f_H = 0$ . В самом деле, выброс напряжения 80 В имеет продолжительность 1 с (условно половина периода), что соответствует частоте  $f = 0,5$  Гц! На **рис. 8** показана сглаженная характеристика коэффициента ослабления КОСЛ от частоты.

Как видно из рис. 8, наибольшее значение КОСЛ вплоть до 60 дБ ОВН имеет как раз в области первых, наиболее мощных гармоник импульсных преобразователей. При проверке этого параметра на вход ОВН подавались помехи разного уровня и частоты.



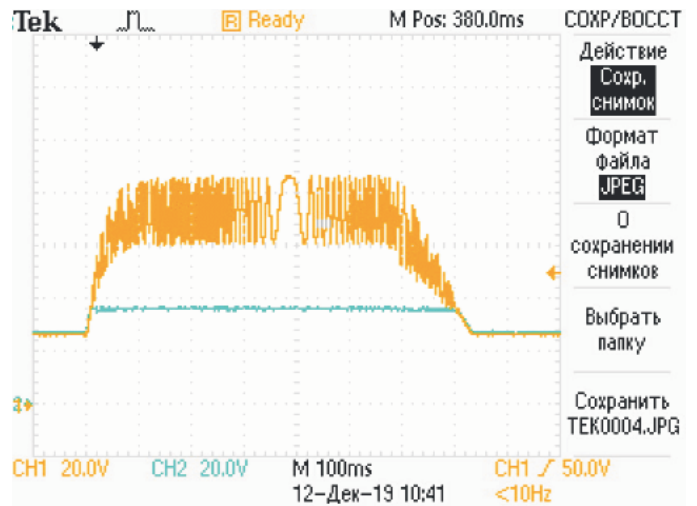
**Рис. 8.** Частотная зависимость коэффициента ослабления КОСЛ ОВН МДН5ВУ.

На **рис. 9** показан результат помехоподавления ОВН в режиме ограничения выходного напряжения. Испытательная установка построена таким образом, что накладывает синусоидальную помеху с частотой 80...100 кГц и амплитудой около 50 В на выброс входного напряжения. При подключении генератора помех к ОВН уровень помехи на входе последнего уменьшается более чем вдвое – фильтрация на входном конденсаторе ОВН. При этом на выходе ОВН амплитуда пульсаций менее 1 В.



**Рис. 9.** Помехоподавление ОВН помехи с частотой 80...100 кГц в режиме ограничения выходного напряжения.

Аналогичные результаты получаются при подаче помех частоты в единицы Гц. На **рис. 10** показан результат помехоподавления в частотном диапазоне 5...100 Гц. В этом случае входной конденсатор и внутренний фильтр ОВН не работают – слишком низкая частота. Помехоподавление осуществляется активной фильтрацией схемы ОВН.



**Рис. 10.** Помехоподавление ОВН помехи с частотой 5...100 Гц в режиме ограничения выходного напряжения.

При построении СЭП модуль ОВН включается на входе один на всю систему электропитания. На **рис. 11** приведена основная схема включения ОВН на входе модулей питания МП.

Использование ОВН в структуре СЭП даёт ряд преимуществ последней, а именно:

- в установившемся режиме работы ОВН представляет собой отличный помехоподавляющий фильтр, коэффициент ослабления в диапазоне частот 50...300 кГц которого достигает 60 дБ;
- наличие входных конденсаторов позволяет улучшить качественные показатели входной сети;
- мгновенное значение тока через ключ КЛ ограничено, что защищает как сам ключ, так и нагрузку ОВН (МП СЭП) от неограниченных входных токов;

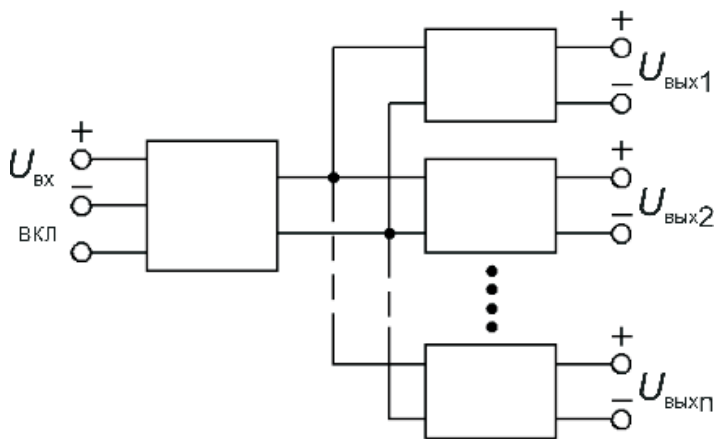


Рис. 11. Типовая схема включения модуля серии МДН при построении СЭП.

- при отказе одного из МП, подключенных к ОВН, типа «КЗ по входу», ОВН квалифицирует это как короткое замыкание по выходу и переходит в режим релаксации. Средний ток в режиме

релаксации, протекающий через прибор, не превышает  $0,1 \dots 0,2 I_{\text{НАГР МАКС}}$ . Этот режим работы безопасен для прибора, и он может работать в нем длительное время без опасности перегрева, защищая при этом входную сеть от перегрузки;

- использование ОВН в структуре СЭП позволит добиться двукратного изменения входного напряжения для преобразователей. При этом можно будет использовать в составе модулей силовые элементы с более низким значением напряжения, что в свою очередь приведет к уменьшению потерь и увеличению КПД СЭП в целом.

#### Список литературы.

- А. А. Миронов. Ограничитель напряжения. Патент РФ на полезную модель № 46594, 2005 г.
- А. А. Миронов. Ограничители напряжения - эффективный способ повышения надёжности и помехоустойчивости бортовой РЭА. Научно-технический сборник «Электрическое питание». Сборник докладов научно-технической конференции, М., 2006 г., с. 44-48.
- А. А. Миронов, С. Л. Затулов. Расширение функциональных возможностей ограничителей выбросов напряжения для бортсетей. «Электроника» №2, М, 2015 г., с. 54-58.
- А. А. Миронов, С. Л. Затулов. Ограничитель выбросов напряжения. Патент РФ на полезную модель № 153770, 2015 г.
- А. А. Миронов. Ограничитель напряжения с ограничением мощности. Патент РФ на полезную модель № 190341, 2019 г.