

# Фильтрация помех в бортовых системах электропитания на основе ограничителя выбросов напряжения

Анатолий МИРОНОВ

Описывается структура бортовой системы электропитания повышенной надежности и помехоустойчивости на основе ограничителя выбросов напряжения. Исследуются особенности помехоподавления в статическом и динамическом режимах.

Надежность системы вторичного электропитания (СВЭП) летательных аппаратов (ЛА) — один из основополагающих факторов безопасности полета, повышение которой достигается как применением высоконадежных комплектующих, так и оптимизацией структуры собственно СВЭП. Далее рассматривается СВЭП на основе ограничителя выбросов напряжения (ОВН) для авиационной бортсети постоянного тока напряжением 27 В с переходными отклонениями до 81 В (ГОСТ Р 54073-2010), ее преимущества по сравнению с традиционными.

Классификация ОВН, особенности их структуры, схемотехники и алгоритмы работы подробно рассмотрены в технической и патентной литературе [1–4]. По способу функционирования в режиме ограничения напряжения ОВН можно условно разделить на ОВН непрерывного способа ограничения и ОВН импульсного способа ограничения — импульсные ОВН [1]. Там же показано, что для нормализации значительной мощности наиболее перспективны ОВН импульсного типа. Далее речь пойдет только об ОВН импульсного типа. Далее речь пойдет только об ОВН импульсного типа.

На рис. 1 демонстрируется алгоритм работы ОВН импульсного способа ограничения напряжения серии МДН (изготовитель — ООО «АЭИЭП», Москва) при переходных процессах, имитирующих процессы в сети электропитания ЛА. Здесь и далее оранжевым цветом показаны осциллограммы входного напряжения, зеленым цветом — выходного.

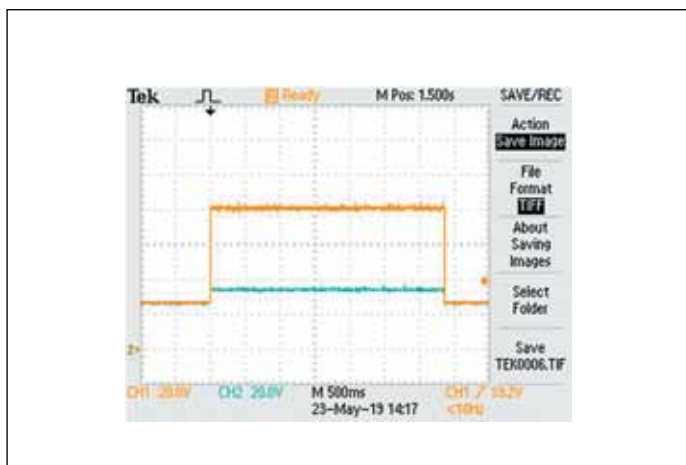


Рис. 1. Работа ОВН во время имитации выброса входного напряжения с амплитудой 81 В

В нормальном режиме работы сети электропитания, когда входное напряжение находится в диапазоне 17–36 В, ОВН работает в установившемся режиме — выходное напряжение практически повторяет входное. Падение напряжения на ОВН не превышает 300 мВ при номинальном выходном токе. Выброс входного напряжения с амплитудой 81 В ограничивается на выходе ОВН на уровне 37 В, безопасных для нагрузки. При этом ОВН переходит в импульсный режим работы с КПД преобразования не менее 95%. Перегрева силовых элементов ОВН не происходит, поэтому длительность перегрузки значения не имеет.

При построении бортовой СВЭП она обычно «набирается» из модулей питания (МП) необходимой мощности и выходного напряжения. Для удовлетворения требований по уровню помех на входе устанавливаются соответствующие фильтры. В СВЭП на основе ОВН необходимость во входных фильтрах отпадает, поскольку их функции берет на себя ОВН. Сложность СВЭП при этом не возрастает, массогабаритные и удельные характеристики не ухудшаются, а функциональные возможности расширяются. Типовая функциональная схема бортовой СВЭП на основе ОВН представлена на рис. 2 [5].

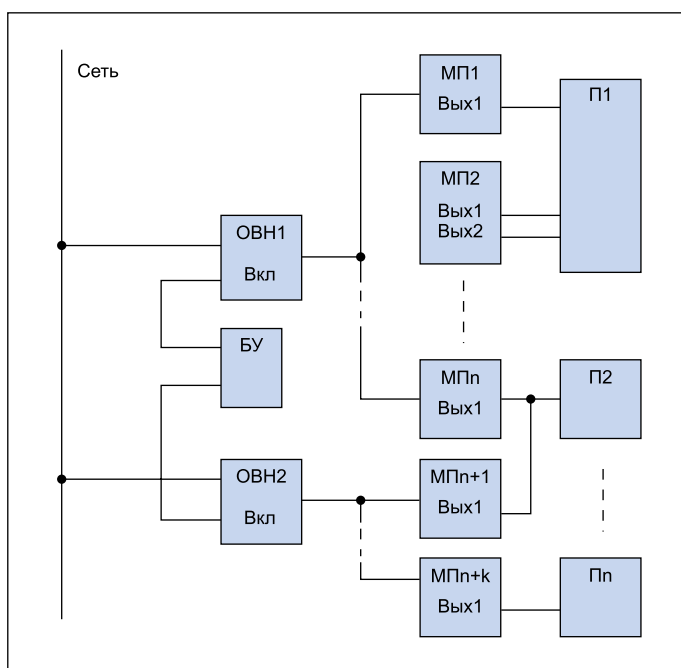


Рис. 2. Функциональная схема СВЭП на основе ОВН

При построении СВЭП один модуль ОВН включается на входе для всей системы электропитания. Здесь СВЭП состоит из двух подсистем с одно- и двухканальными модулями питания МП1–МПn и МПn+1–МПn+k, которые подключены к выходам ОВН 1 и ОВН 2 соответственно. Каждая из подсистем управляется от блока управления (БУ). Нагрузкой МП являются потребители П1–Пn, которые могут получать электропитание и управление как от «своего» ОВН, так и от обоих (потребитель П2). И хотя основное назначение ОВН — ограничение низкочастотного выброса входного напряжения, СВЭП с ним в составе по сравнению с традиционными получает еще ряд полезных свойств, а именно:

- в установившемся режиме работы ОВН представляет собой отличный помехоподавляющий фильтр, коэффициент ослабления которого в диапазоне частот 50–300 кГц достигает 60 дБ;
- наличие входных конденсаторов позволяет улучшить качественные показатели входной сети и уровень помехоподавления ОВН;
- мгновенное значение тока через ОВН ограничено, что защищает потребителей Пn от неограниченных входных токов при запуске;
- при отказе одного из модулей 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 0,1–0,2 от максимального выходного тока. Этот режим безопасен для ОВН, и он может работать в нем длительное время без опасности перегрева, защищая входную сеть от перегрузки.

Рассмотрим подробнее особенности СВЭП на основе ОВН в части помехоподавления. В установившемся режиме работы ОВН серии МДН представляет собой управляемый фильтр. Сглаженная частотная характеристика коэффициента ослабления  $K_{осл}$  ОВН

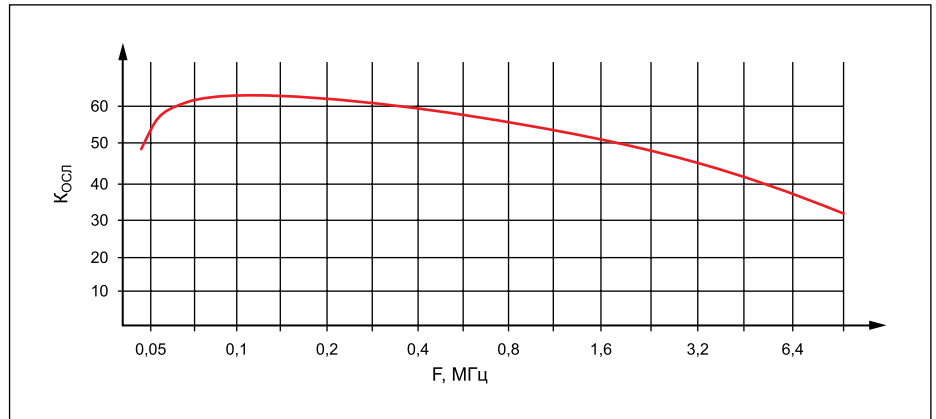


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента ослабления КОСЛ ОВН серии МДН

с максимальным выходным током 5 А показана на рис. 3.

Наибольшее ослабление вплоть до 60 дБ ОВН имеет в диапазоне 75–400 кГц, где располагаются первые, самые мощные гармоники модулей питания СВЭП. Таким образом, ОВН является эффективным фильтром помех от СВЭП в бортовую сеть. Со снижением частоты фильтрующие свойства данного ограничителя уменьшаются. На частотах в несколько кГц его вообще нельзя рассматривать как фильтр, что, однако, не препятствует его применению, поскольку современные МП работают на частотах от 100 кГц и выше и на этих частотах помехи не генерируют. В этом диапазоне помехи проходят через ОВН без ослабления, но значительно ослабляются схемой МП, так что на выходе МП у потребителей Пn низкочастотные составляющие помех также отсутствуют.

В динамическом же режиме работы (режиме ограничения входного напряжения) ОВН продолжает оставаться эффективным фильтром вплоть до самых низких частот. На рис. 4 показан результат помехоподавления ОВН в режиме ограничения выходного напряжения. Испытательная установка накладывает периодическую помеху с частотой

5–30 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 около 1 В на активной нагрузке. Подключение на выход МП уменьшает амплитуду помехи еще вдвое — работает входной фильтр модуля питания. Однако это уже лишнее, поскольку МП активно подавляет помеху такого уровня на входе.

Аналогичные результаты в динамике получаются при подаче помехи частотой в единицы и сотни Гц.

На рис. 5 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. На выходе ОВН амплитуда пульсаций также около 1 В на активной нагрузке.

В динамике ОВН можно рассматривать как фильтр с нижней частотой помехоподавления  $f_H = 0$ . В самом деле, выброс входного напряжения 81 В в соответствии с ГОСТ Р 54073-2010 имеет продолжительность

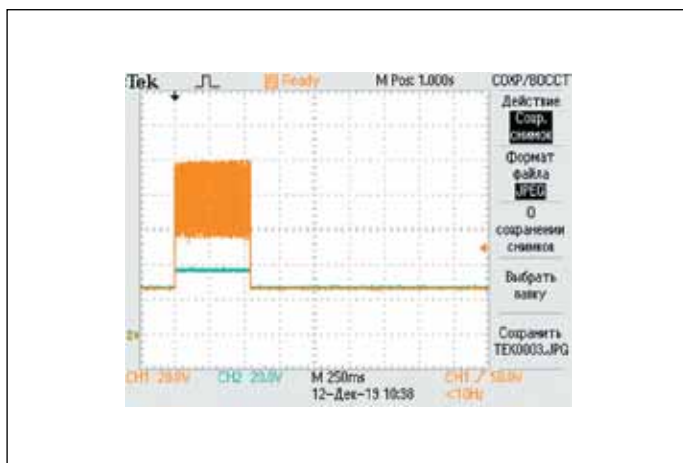


Рис. 4. Помехоподавление ОВН помехи с частотой 10–30 кГц в режиме ограничения выходного напряжения

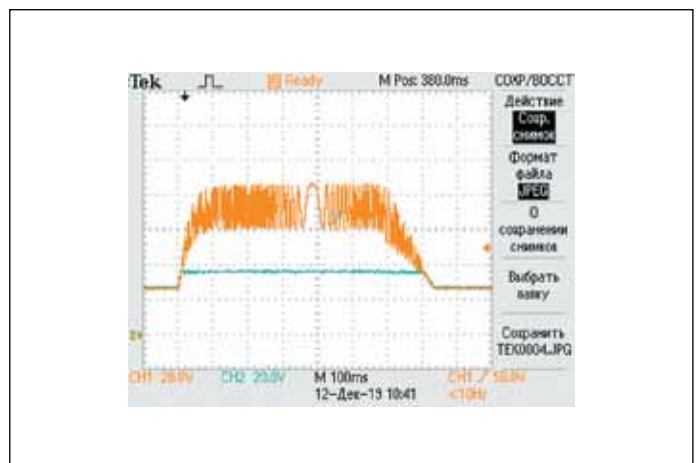
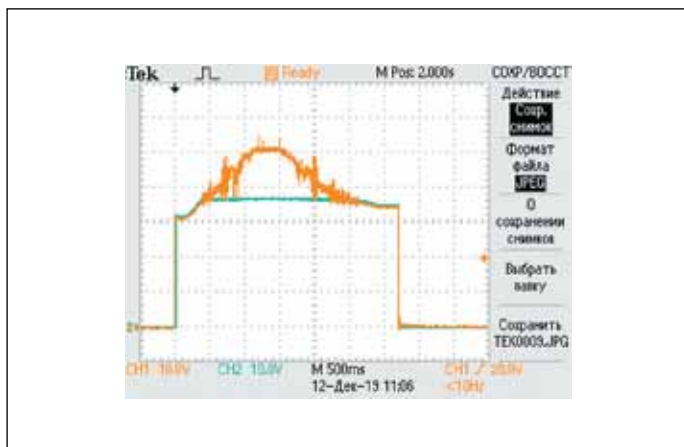


Рис. 5. Помехоподавление ОВН помехи с частотой 5–100 Гц в режиме ограничения выходного напряжения



**Рис. 6.** Переходный процесс в бортовой СВЭП с выбросом 51 В и коммутационными помехами

1 с (условно половина периода), что соответствует частоте  $f = 0,5$  Гц! На рис. 6 представлены осциллограммы ограничения и одновременной фильтрации входного напряжения, имитирующего напряжение в реальной бортовой СВЭП.

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

Таким образом, применение ОВН в составе бортовых СВЭП увеличивает надежность и помехоустойчивость последних, что повышает общую безопасность ЛА. ■

## Литература

1. Миронов А. А. Ограничители напряжения — эффективный способ повышения надежности и помехоустойчивости бортовой РЭА. Электрическое питание. Сб. докладов научно-технической конференции, 2006.
2. Миронов А. А. Ограничитель напряжения. Патент РФ на полезную модель № 46594, 2005.
3. Миронов А. А., Затулов С. Л. Расширение функциональных возможностей ограничителей выбросов напряжения для бортсетей // Электропитание. 2015. № 2.
4. Миронов А. А., Затулов С. Л. Ограничитель выбросов напряжения. Патент РФ на полезную модель № 153770, 2015.
5. Миронов А. А., Инякин Е. С. Применение ограничителей выбросов напряжения для нормализации параметров авиационной бортсети // Аэрокосмическое приборостроение. 2020. № 3.