

Подавление радиопомех в бортовых системах электропитания на основе ограничителя выбросов напряжения

Анатолий Миронов (maapwr@rambler.ru)

В статье описывается структура бортовой системы электропитания повышенной надёжности и помехоустойчивости на основе ограничителя выбросов напряжения, исследуются особенности помехоподавления в статическом и динамическом режимах работы, предельные уровни электрических воздействий.

Вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) стоят всегда на первом месте при разработке систем вторичного электропитания (СВЭП) летательных аппаратов (ЛА). В статье рассматривается один из аспектов ЭМС СВЭП – повышение надёжности систем авиационного бортового электропитания посредством оптимизации структуры и способов решения вопросов подавления радиопомех.

Традиционным способом решения задач ЭМС считается установка на входе (а иногда и на выходе) СВЭП соответствующих фильтров радиопомех (ФРП). Такой способ приемлем, когда нижняя граница спектра радиопомех находится на частотах 100...150 кГц. В настоящее время это значение снизилось до 10 кГц. Кроме того, авиационная бортовая сеть постоянного тока напряжением 27 В по ГОСТ Р 54073-2010 имеет переходные отклонения (выбросы) до 81 В длительностью до 1 с! Здесь уже не поможет никакой ФРП.

В материалах [1–3] рассматривается структура СВЭП на основе ограничителя выбросов напряжения (ОВН), которая решает эффективно вышеперечисленные задачи.

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

На рисунке 1 графически демонстрируется алгоритм работы ОВН серии МДН (изготовитель – ООО «АЭИЭП», г. Москва) при переходных процессах, возникающих в сети электропитания ЛА.

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, что соответствует максимальному КПД прибора – более 99%. Выброс входного напряжения с амплитудой 81 В ограничивается на выходе ОВН на уровне 37 В, безопасных для работы потребителей Пп. 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, т.к. их функции берёт на себя ОВН. Основное назначение ОВН – ограничение выброса входного напряжения. Остальные полезные возможности ОВН даются разработчику СВЭП «в придачу и бесплатно». Сложность СВЭП при этом не возрастает, массогабаритные и удельные характеристики не ухудшаются, а функциональные возможности существенно расширяются. Типовая функциональная схема бортовой СВЭП на основе ОВН представлена на рисунке 2 [5].

При построении СВЭП модуль ОВН включается на входе один на всю систему электропитания. СВЭП на рисунке 2 состоит из двух подсистем с одной и двухканальными модулями питания МП1–МПn и МП(n+1)–МП(n+k), которые подключены к выходам соответственно ОВН1 и ОВН2. Каждая из подсистем управляется блоком управления (БУ). Нагрузкой МП являются потребители П1–Пn, которые могут получать электропитание и управление как от «своего» ОВН, так и от обоих (потребитель П2).

Рассмотрим подробнее особенности ОВН как устройства помехоподавления.

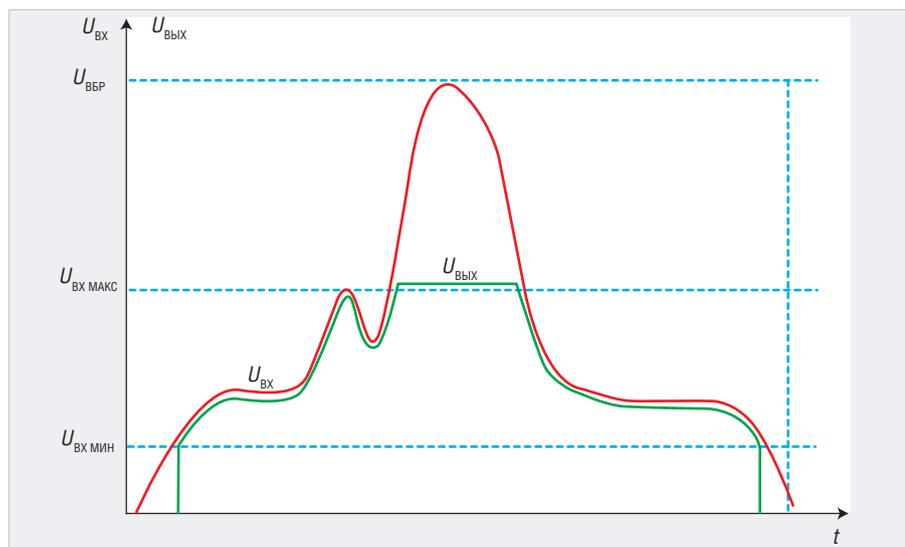


Рис. 1. Графическая интерпретация алгоритма работы ОВН

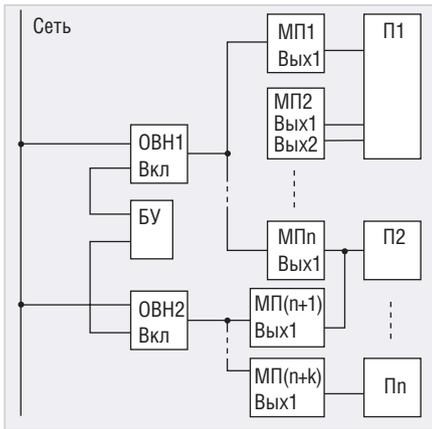


Рис. 2. Функциональная схема СВЭП

на основе ОВН (ОВН – ограничитель выбросов напряжения, БУ – блок управления, МП – модуль питания, П – потребитель)

В установленном режиме работы ОВН серии МДН представляет собой, по существу, фильтр, управление включением которого может осуществляться по выводу ВКЛ маломощным ключом (маломощным транзистором, контактами реле, выходом цифровой ИМС). Сглаженная частотная характеристика коэффициента ослабления $K_{осл}$ ОВН серии МДН с максимальным выходным током 5 А показана на рисунке 3.

Наибольшее ослабление (вплоть до 60 дБ) собственно ОВН имеет в диапазоне 75...400 кГц, где располагаются первые, наиболее мощные гармоники модулей питания СВЭП. ОВН, таким образом, является эффективным фильтром помех от СВЭП в бортовую сеть и обратно. Со снижением частоты фильтрующие свойства ОВН уменьшаются. На частотах в несколько килогерц его вообще как фильтр рассматривать нельзя. Однако это не является препятствием для его применения, т.к. современные МП работают на частотах от 100 кГц и выше и на частотах в несколько кГц помехи не генери-

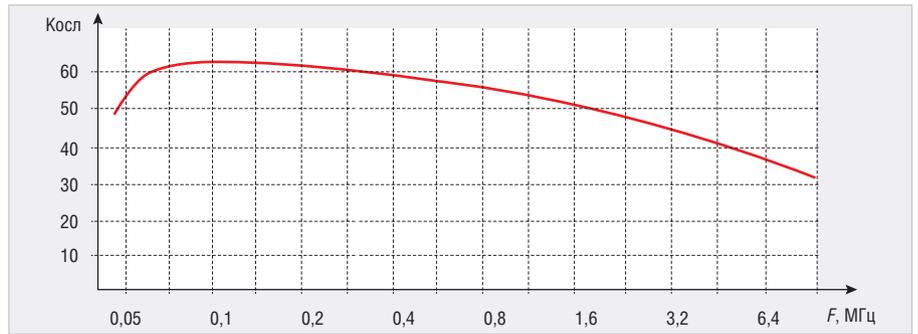


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента ослабления $K_{осл}$ ОВН серии МДН

руют. Помехи этого диапазона проходят через ОВН без ослабления, но значительно ослабляются узлами и блоками МП, так что на выходе МП, у потребителей Пп, 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 рисунке 4 показан результат помехоподавления ОВН в режиме ограничения выходного напряжения. Здесь и далее оранжевым цветом показаны осциллограммы входного напряжения, зелёным цветом – выходного. Испытательная установка накладывает периодическую помеху частотой в несколько килогерц и амплитудой около 50 В на выброс входного напряжения. При подключении генератора помех к ОВН уровень помехи на входе последнего уменьшается более чем вдвое – происходит первичная фильтрация на входном конденсаторе ОВН. При этом на выходе ОВН амплитуда пульсаций составляет около 1 В на активной нагрузке. Подключение на выход ОВН модулей питания уменьшает амплитуду помехи ещё вдвое – работает входной фильтр МП. Однако и этого уже не требу-

ется, т.к. МП активно подавляет помеху такого уровня на входе.

Аналогичные результаты в режиме ограничения получаются при подаче на вход ОВН помехи частотой в единицы – сотни герц. На рисунке 5 показан результат помехоподавления в частотном диапазоне 5...100 Гц. В этом случае входной конденсатор и внутренний фильтр ОВН практически не работают – слишком низкая частота. Помехоподавление осуществляется активной фильтрацией схемы ОВН. На выходе ОВН амплитуда пульсаций также составляет около 1 В на активной нагрузке.

В режиме ограничения выходного напряжения ОВН можно рассматривать как эффективный 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 1 с (условно – половина периода), что соответствует частоте $f = 0,5$ Гц! На рисунке 6 показаны осциллограммы работы ОВН в режиме ограничения и одновременно фильтрации входного напряжения, имитирующего напряжение в реальной бортовой СВЭП.

Амплитудное значение выброса входного напряжения достигает 51 В, длитель-

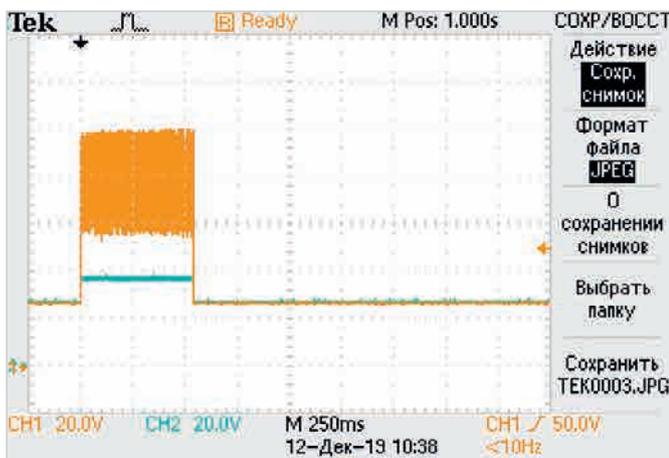


Рис. 4. Подавление помех частотой 5...30 кГц при работе ОВН в режиме ограничения выходного напряжения

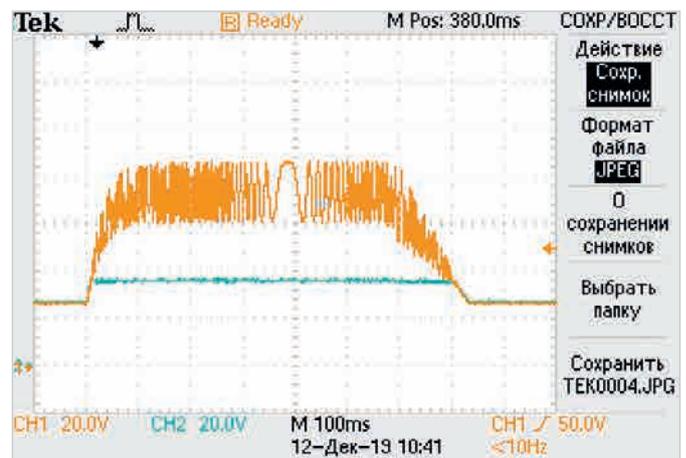


Рис. 5. Подавление помех частотой 15...100 Гц при работе ОВН в режиме ограничения выходного напряжения



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

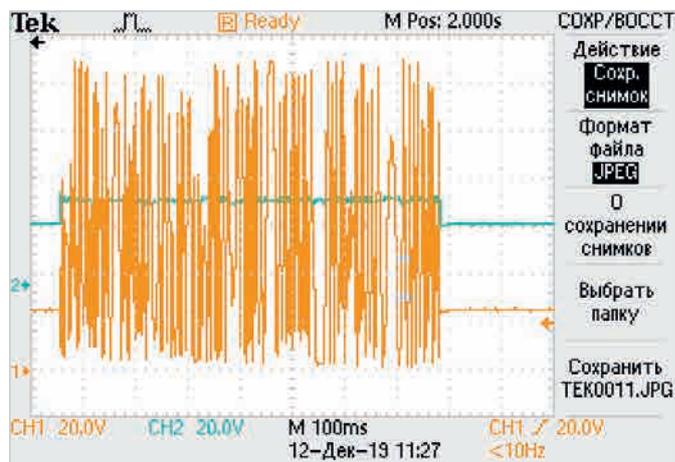


Рис. 7. Переходный процесс на выходе ОВН с входной импульсной помехой

ность переходного процесса около 2 с. Нарастание и спад напряжения сопровождаются высокочастотными коммутационными помехами. Однако ОВН эффективно сглаживает их, фиксируя выходное напряжение на уровне около 37 В.

Для исследования предельных возможностей ОВН в динамическом режиме испытательной установкой на входе была сгенерирована импульсная низкочастотная помеха с амплитудой около 70 В (см. рис. 7)!

Входной конденсатор ОВН в этом режиме также практически не работает. Помехоподавление осуществляется активной фильтрацией схемы ОВН. На выходе ОВН амплитуда пульсаций также около 2 В на активной нагрузке. Подключённые к ОВН МП СВЭП уверенно фильтруют помехи такой амплитуды.

Итак, хотя основное назначение ОВН – ограничение низкочастотного выброса входного напряжения, СВЭП с ним в составе по сравнению с традиционными получает ещё ряд полезных качеств, а именно:

- в установившемся режиме работы ОВН представляет собой эффективный помехоподавляющий фильтр, коэффициент ослабления которого в диапазоне частот 50...300 кГц достигает 60 дБ;
- наличие входных конденсаторов позволяет улучшить качественные показатели входной сети и повысить уровень помехоподавления ОВН;
- мгновенное значение тока через ОВН ограничено, что защищает потребителей Пп от неограниченных входных токов при запуске;
- при отказе одного из модулей МП, подключённых 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 работы безопасен для ОВН, и он может работать в нём длительное время без опасности перегрева, защищая при этом входную сеть от перегрузки.

Таким образом, применение ОВН в составе бортовых СВЭП эффективно решает проблемы ЭМС и попутно повышает надёжность и безопасность ЛА.

Литература

1. *Мионов А. А.* Ограничители напряжения – эффективный способ повышения надёжности и помехоустойчивости бортовой РЭА. Научно-технический сборник «Электрическое питание». Сборник докладов научно-технической конференции. М., 2006 С. 44–48.
2. *Мионов А. А.* Ограничитель напряжения. Патент РФ на полезную модель № 46594, 2005 г.
3. *Мионов А. А., Затулов С. Л.* Расширение функциональных возможностей ограничителей выбросов напряжения для бортовых. Электропитание. 2015. № 2. С. 54–58.
4. *Мионов А. А., Затулов С. Л.* Ограничитель выбросов напряжения. Патент РФ на полезную модель № 153770, 2015.
5. *Мионов А. А., Инякин Е. С.* Применение ограничителей выбросов напряжения для нормализации параметров авиационной бортовой сети. Аэрокосмическое приборостроение. 2020. № 3. С. 13–26.

НОВОСТИ МИРА

SYNAPTICS ПОКУПАЕТ ЧАСТЬ АКТИВОВ BROADCOM

Компания Synaptics объявила о подписании окончательных соглашений, в соответствии с которыми она приобретёт у Broadcom определённые активы и права на производство, связанные с бизнесом Wireless IoT. Сумма сделки – \$250 млн.

В соответствии с условиями соглашений Synaptics приобретёт определённые права на существующие продукты Broadcom для Wi-Fi, Bluetooth и GPS/GNSS, бизнес на рынке IoT,

а также на будущие устройства, разработанные в соответствии с имеющимся планом в расчёте на современные узлы техпроцесса.

Покупатель рассчитывает, что данное приобретение дополнительно укрепит его позиции на быстрорастущем потребительском рынке IoT. Говоря точнее, в Synaptics ожидают, что сделка добавит приблизительно \$65 млн к текущему годовому объёму продаж и обеспечит значительный потенциал роста выручки.

Ожидается, что сделка, одобренная советом директоров Synaptics, будет завершена в пер-



вом квартале 2021 финансового года при соблюдении обычных условий закрытия. Synaptics рассчитывает профинансировать сделку за счёт наличных денежных средств, не прибегая к дополнительным источникам финансирования.

IXBT со ссылкой на Synaptics

НОВОСТИ МИРА

**KEYSIGHT TECHNOLOGIES
ПРИОБРЕТАЕТ КОМПАНИЮ
EGGPLANT**

Компании Keysight Technologies, Inc. и Eggplant, специализирующаяся в области цифровой автоматизации, сообщили о завершении сделки по приобретению Eggplant компанией Keysight у The Carlyle Group.

Eggplant – ведущий поставщик услуг по автоматизации проведения испытаний и анализа программного обеспечения с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ). Созданная Eggplant платформа Digital Automation Intelligence позволяет проводить тестирование любых цифровых технологий на любых устройствах, в любых браузерах и операционных системах, на всех уровнях – от пользовательского интерфейса до интерфейсов прикладных программ (API) и баз данных.

Цифровая революция привела к экспоненциальному росту объёмов и стоимости программного обеспечения. Для создания интеллектуальных и взаимосвязанных продуктов необходимы миллионы строк программного кода. Чтобы сохранить конку-

рентоспособность, компании должны ускорять процессы цифровой трансформации, не прекращая поддержку разработанных ранее платформ. Постоянно растущие масштабы тестирования цифровых продуктов приводят к усложнению задач и увеличению времени вывода продукта на рынок.

Используя технологии искусственного интеллекта и инструменты анализа для автоматизации испытаний, Eggplant способствует повышению качества и ускорению программных разработок, тем самым увеличивая конкурентоспособность компаний и дифференциацию рынка. Eggplant предоставляет услуги тестирования для организаций из целого ряда отраслей (часть из которых совпадает с базой клиентов Keysight) и открывает новые рынки сбыта для технологий тестирования программного обеспечения.

Целью объединения Keysight и Eggplant является совместная разработка инновационных продуктов для автоматизации испытаний программного обеспечения как на физическом уровне, так и на уровне приложений и протоколов. В результате сделки обе компании получают доступ к новым измеритель-



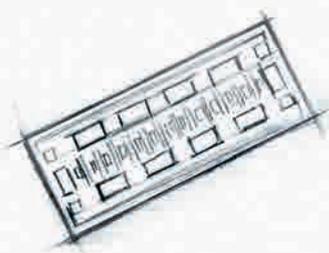
ным технологиям, что позволит расширить и дифференцировать свой ассортимент решений для тестирования.

Стоимость сделки составила \$330 млн. Прибыль Eggplant за 2019 год составила \$38 млн. Президент компании Джон Бейтс присоединится к команде ведущих менеджеров Keysight под руководством Сун Чай Гуи, президента группы промышленных цифровых решений компании Keysight.

Пресс-релиз Keysight Technologies

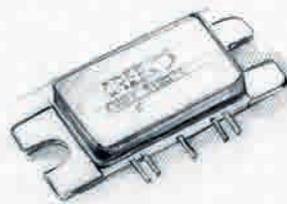


НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



Кристаллы СВЧ-транзисторов GaN/SiC

- Диапазон частот: DC...6,0 ГГц
- Выходная мощность: 8, 15, 30, 40 Вт
- Типовое усиление: 15–17 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40, 50 В



Широкополосные GaN HEMT-транзисторы общего назначения

- Диапазон частот: L, S, C, X
- Выходная мощность: 800 Вт – L-диапазон, 180 Вт – S-диапазон, 6 Вт – X-диапазон
- Типовое усиление: 13–20 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40, 50 В



LDMOS-транзисторы

- Диапазон частот: 400...1400 МГц, 420...960 МГц, 700...2200 МГц, 1800...2000 МГц, 2000...2200 МГц, 2300...2400 МГц, 2500...2700 МГц
- Выходная мощность: до 600 Вт
- Типовое усиление: 16–30 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 30, 48, 50 В



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIPRU ▪ WWW.PROCHIPRU

Рисунки