

Модули фильтрации радиопомех для бортовых сетей

Игорь ТВЕРДОВ
Сергей ЗАТУЛОВ
alecsan@aeip.ru

В системах электропитания (СЭП) подвижных объектов импульсные высокочастотные преобразователи, благодаря высоким энергетическим и массо-габаритным характеристикам, практически вытеснили традиционные. Одновременно радиоэлектронная аппаратура (РЭА) получила новый мощный источник радиопомех, который заметно ухудшает электромагнитную обстановку.

Для решения этой проблемы предприятие АЭИЭП, которое выпускает высокочастотные модули питания для спецтехники [1, 2], разработало модули фильтрации радиопомех в питающих цепях переменного и постоянного тока.

В аппаратных, размещенных на автомобилях, вездеходах, вертолетах, самолетах и других

видах транспорта, в основном используются однопроводные СЭП, где один из полюсов питания заземлен на корпус или шину «земля».

Предприятие АЭИЭП производит универсальные модули фильтрации радиопомех МРМ (табл. 1), которые используются как в однопроводных, так и в двухпроводных бортовых сетях.

Модули МРМ БКЮС468240.003-01 ТУ разработаны для эксплуатации в особо жестких условиях. Они предназначены для применения в системах электропитания аппаратуры, выпускаемой в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.301 – ГОСТ РВ 20.39.309, и включены в перечень МОП 44001.18-2010.

Модули рассчитаны на проходные токи от 2,5 до 20 А, имеют коэффициент ослабления радиопомех от 30 до 60 дБ в диапазоне частот от 0,15 до 30 МГц. Допускается эксплуатация модулей при температуре корпуса до +85 °С.

Конструктивно они выполнены в металлических корпусах с крепежными фланцами или без них (рис. 1, 2). Модули изготавливаются с покрытием, которое обеспечивает пайку низкотемпературными припоями. Это позволяет разработчикам РЭА соединять корпус модуля с шиной заземления, что увеличивает ослабление помех на высоких частотах.

Схема однопроводного подключения модуля фильтрации МРМ к модулю питания (МП) для подавления помех на входе МП приведена на рис. 3а.

Рассмотрим эквивалентную схему источника радиопомех МП, на входе которого включен модуль фильтрации (рис. 3б).

Значения полного сопротивления Z_i и $Z_{вых}$ можно найти с помощью выражения:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

В частотном диапазоне от 0,15 до 30 МГц, в котором измеряются помехи в соответствии с нормами, эти сопротивления меняются в широких пределах.

При использовании модулей следует учитывать, что основным параметром — коэффициент ослабления радиопомех, указанный в таблице 1, согласно ГОСТ 13661-92 измерялся при сопротивлении 50 Ом на входе и выходе модуля.

Реально высокочастотные сопротивления Z_i и $Z_{вых}$ (рис. 3б) меняются в зависимости от ча-

Таблица 1. Электрические и эксплуатационные характеристики модулей МРМ БКЮС. 468240.003-01 ТУ

Тип сети	Обозначение	Диапазон входного напряжения, В	Значение проходного тока, А	Коэффициент ослабления помех в диапазонах частот, дБ				Падение напряжения на модуле, В	Напряжение на выходных выводах модуля при импульсе 1000 В*	Габаритные размеры (с фланцами), мм	Масса, г	Диапазон рабочей температуры корпуса, °С
				0,15–0,3 МГц	0,3–1 МГц	1–10 МГц	10–30 МГц					
DC	МРМ1	Сеть В – 27 В	2,5	≥30	≥40	≥60	≥50	≤1% $U_{вх, max}$	≤ $U_{вх} + 2 В$	30×20×10 (40×20×10)	20	«М»: –60...+85
	МРМ2	Диапазон (0–40) Сеть Д – 60 В	5							40×30×10 (50×30×10)	30	
	МРМ3	Диапазон (0–64) Сеть Д – 60 В	10							47,5×33×10 (57,5×33×10)	40	
	МРМ4	Диапазон (0–64) Сеть Д – 60 В	20							57,5×40×10 (67,5×40×10)	60	



Рис. 1. Модуль МРМ2



Рис. 2. Модуль МРМ2-У — корпус с фланцами

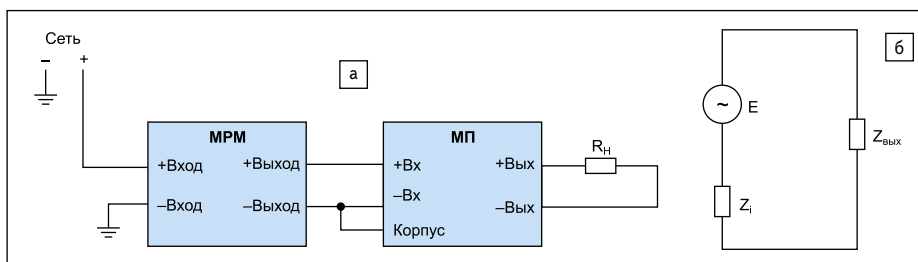


Рис. 3. а) Схема однопроводного подключения модуля фильтрации МРМ к МП, б) эквивалентная схема: Е — ЭДС источника радиопомех; Z_i — его эквивалентное внутреннее сопротивление, $Z_{вых}$ — выходное сопротивление модуля фильтрации, играющее роль нагрузки

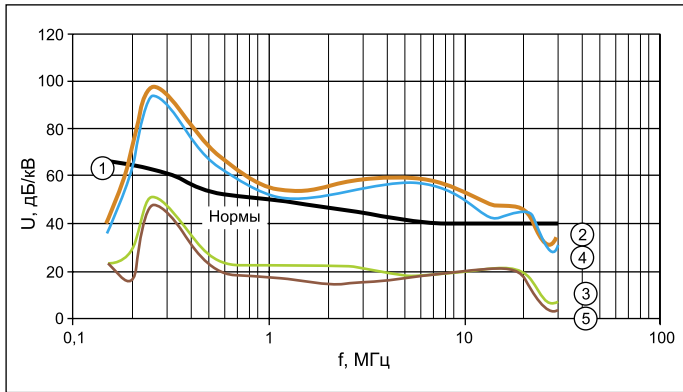


Рис. 4. Напряжение радиопомех

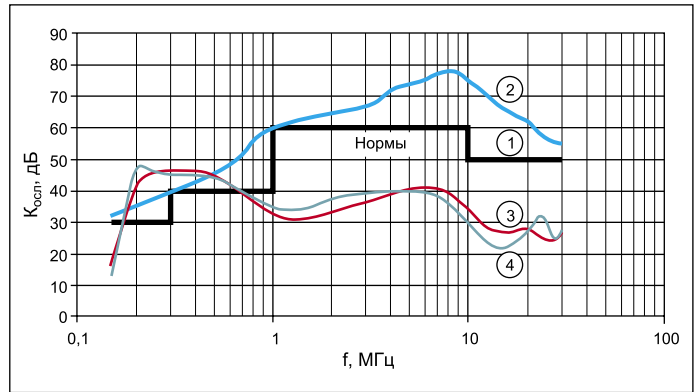


Рис. 5. Зависимость коэффициента ослабления от частоты

стоты и никогда не равны 50 Ом. Поэтому значение коэффициента ослабления радиопомех, измеренное по методу ГОСТ 13661-92, используют только для сравнения фильтров по эффективности. Для определения реального коэффициента ослабления проводятся испытания системы «модуль фильтрации – модуль питания». На первом этапе на испытательном стенде АЭИЭП были измерены напряжения радиопомех на входе МП.

На рис. 4 приведены графики типовой зависимости (кривые 2, 4) напряжения помех на входе модулей питания серии МДМ от частоты при токах нагрузки $I_{ном}$ и $0,5I_{ном}$. Там же приведены значения напряжения радиопомех в соответствии с графиком 2 норм (кривая 1), которые распространяются на большую часть радиоэлектронной аппаратуры. Как видно на рис. 4, при уменьшении нагрузки напряжение помех на входе МП также снижается. Для нагрузки $0,5I_{ном}$ по сравнению с $I_{ном}$ уровень помех уменьшается на 2–4 дБ во всем измеряемом диапазоне частот.

Из сравнения результатов измерения помех с нормами ГОСТ 30429-96 следует, что небольшие фильтры радиопомех, встроенные в малогабаритные модули питания, не способны обеспечить высокие требования ГОСТов, поэтому требуется внешняя фильтрация. Для этого используются модули фильтрации, которые выпускаются АЭИЭП в широком диапазоне напряжений и токов (табл. 1).

Измеренный уровень помех на входе системы «модуль фильтрации МРМ – модуль питания МП» (использованы модули питания МДМ60 и модуль фильтрации МРМ1) показан на рис. 4 (кривые 3, 5) при токах нагрузки $I_{ном}$ и $0,5I_{ном}$ соответственно. При совместной работе МП и модуля фильтрации помехи на входе не превышают значений, определяемых графиком 2 норм.

Реальный коэффициент ослабления модуля определялся по формуле:

$$K_n = U_1 - U_2, \quad (1)$$

где U_1 — уровень помех в дБ на входе МП без фильтра; U_2 — уровень помех в дБ на входе МП с фильтром.

Кривая 2 (рис. 5) представляет собой зависимость коэффициента ослабления помех $K_{осл}$ модуля МРМ от частоты (измерения по ГОСТ 30429-96), а кривые 3 и 4 (рис. 5) — зависимость, вычисленная по формуле (1) (измерения при нагрузках $I_{ном}$ и $0,5I_{ном}$ соответственно). Здесь приведены нормируемые по БКЮС. 468240.003-01 ТУ значения коэффициента ослабления модулей фильтрации МРМ (кривая 1), указанные в таблице 1.

Согласно кривой 3 (рис. 5) реальный коэффициент ослабления за счет лучшего согласования сопротивления Z_i модуля питания и $Z_{вых}$ модуля фильтрации на частоте до 0,7 МГц выше норм по БКЮС. 468240.003-01 ТУ. На более высокой частоте реальный коэффициент ослабления уменьшается. Как показывают измерения (рис. 4), на частоте выше 0,7 МГц помехи от МП также снижаются.

Все измерения выполнены при установке модулей в соответствии с рекомендациями по применению модулей в электронной аппаратуре, которые изложены в РТМ предприятия [1]. В рекомендациях сказано, что эффективность подавления помех модулем фильтрации при работе совместно с модулем питания зависит от емкости внешних корректирующих конденсаторов, правильно выполненного заземления и разводки печатной платы.

Уже отмечалось, что универсальные модули фильтрации радиопомех используются

как в однопроводных, так и в двухпроводных бортовых сетях.

Внешние конденсаторы С1–С6 (рис. 6) устанавливают, чтобы шунтировать токи помех от модуля питания. Испытания показали, что без таких конденсаторов за счет резонансов на отдельных частотах возможно усиление, а не ослабление помех.

Величину емкости конденсаторов С1–С6, где С2, С5 — танталовые типов К52, К53, а С1, С3, С4, С6 — керамические типов К10–47, К10–67, выбирают в соответствии с таблицей 2.

Вывод «Корпус» модуля фильтрации должен быть подключен к шине заземления корпуса (шасси) в точке, наиболее удаленной от модулей питания. Соединение необходимо выполнить с помощью проводника с соотношением размеров 5:1, где первая величина — длина проводника, а вторая — его ширина.

Недопустимо соединять вывод «Корпус» модуля фильтрации с выводом «Корпус» модуля питания, который имеет высокий уровень помех. После введения этих помех

Таблица 2. Значение емкостей конденсаторов С1–С6

Обозначение модуля	С2, С5, мкФ	С1, С3, С4, С6, мкФ
МРМ1	0,47	0,047
МРМ2	1,5	0,1
МРМ3	3,3	0,33
МРМ4	5	0,47

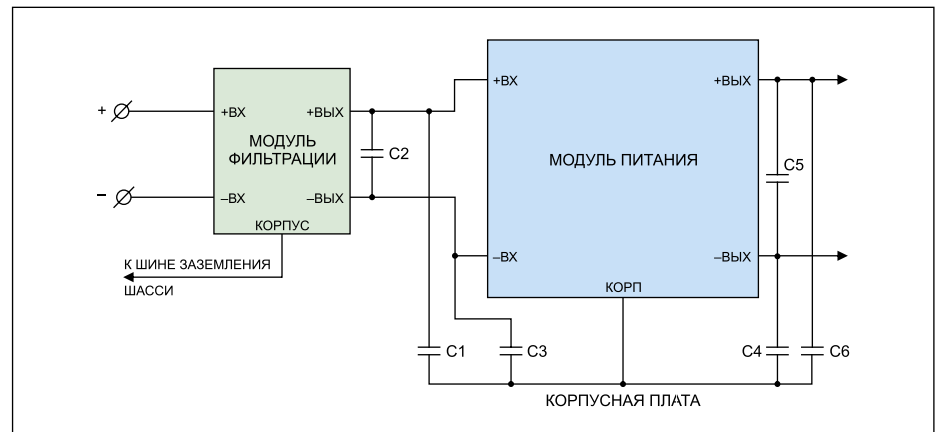


Рис. 6. Схема подключения модуля питания к модулю фильтрации

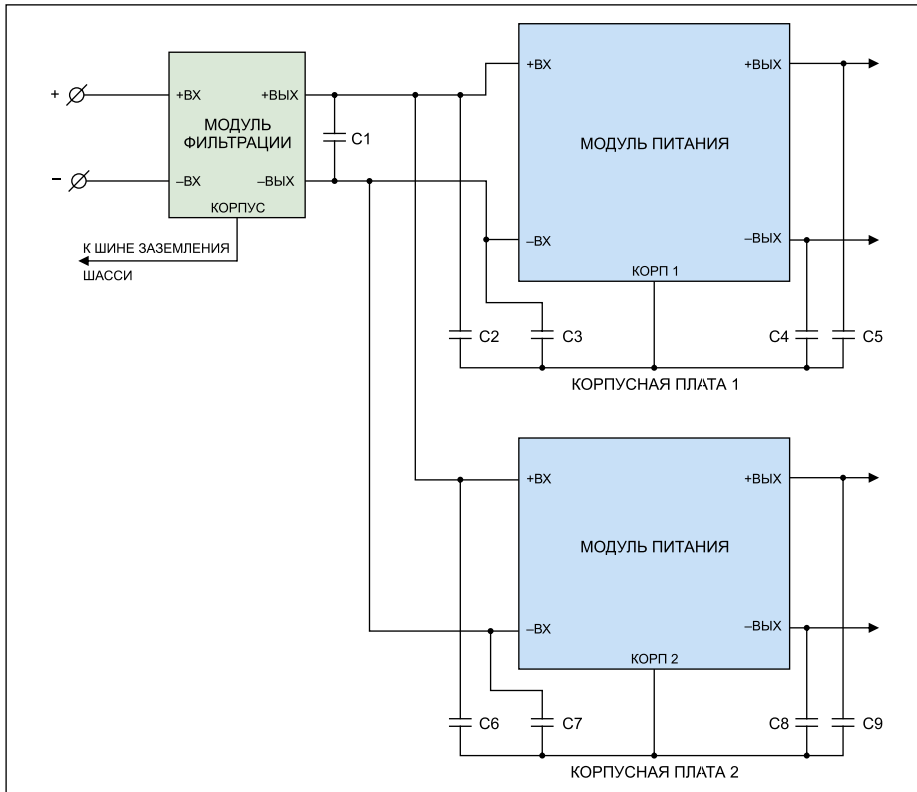


Рис. 7. Схема подключения к модулю фильтрации двух модулей питания

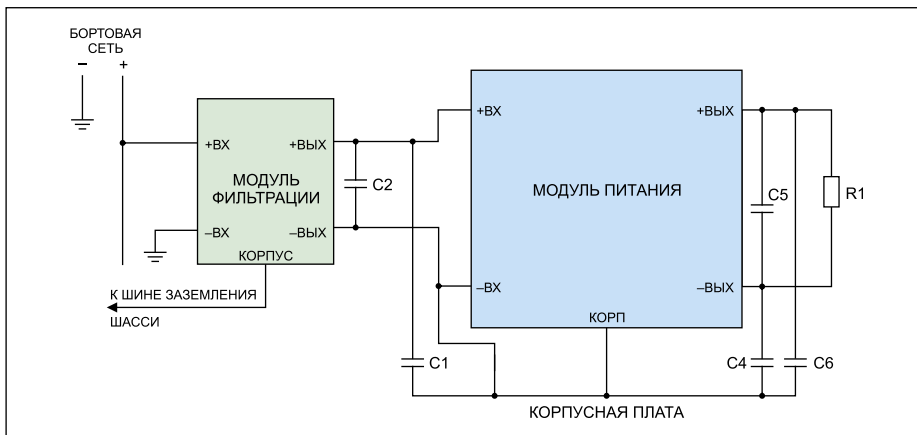


Рис. 8. Схема подключения модуля фильтрации к модулю питания в однопроводной сети с заземленным минусом

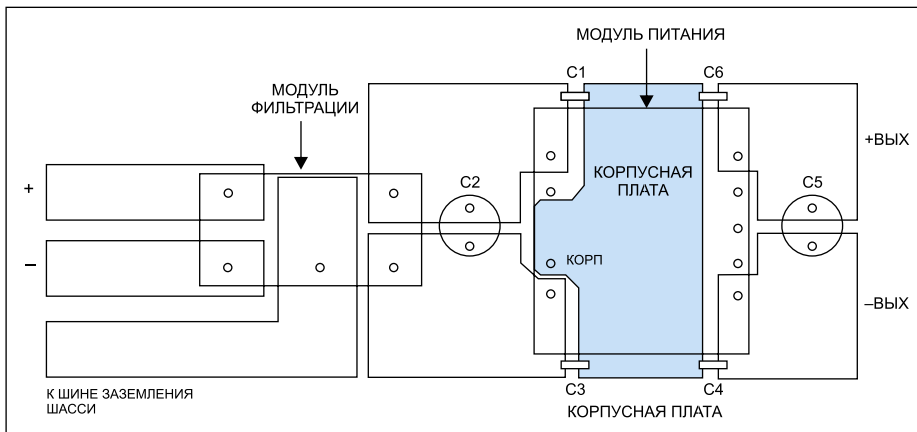


Рис. 9. Рекомендуемая разводка печатной платы

в модуль фильтрации увеличивается входная несимметричная помеха.

К одному модулю фильтрации можно подключить несколько модулей питания, пока входной ток не превышает величину проходного тока (рис. 7).

В однопроводных бортовых сетях, когда отрицательный полюс питания заземлен, при подключении модуля фильтрации к модулю питания конденсатор C3 удаляется, а выводы КОРП и -ВХ модуля питания соединяются (рис. 8).

Если заземлен положительный полюс бортовой сети, то удаляется конденсатор C1, объединяют выводы КОРП и +ВХ модуля питания.

Эффективность работы модулей фильтрации совместно с МП зависит от разводки печатной платы. Рекомендуемый пример разводки печатной платы с модулем МРМ, который установлен на входе МП, показан на рис. 9.

Модуль питания устанавливают на плату, в которую запаиваются конденсаторы C1, C3, C4, C6 и вывод «Корпус» модуля питания.

Помехи на высоких частотах проникают через любые слабые места, чтобы обойти фильтры. Поэтому целесообразно на первом этапе проектирования систему «модуль питания – модуль фильтрации» смонтировать на плате проводниками и несколько раз поменять расположение проводников и модулей относительно друг друга, чтобы получить максимальный коэффициент подавления радиопомех.

При установке следует учитывать, что модули, имеющие резьбовые втулки или фланцы, крепятся к плате и теплоотводу винтами. При монтаже момент затяжки винтов должен быть не более 6 кгс·см для резьбы М3 и не более 4 кгс·см для резьбы М2,5. Для исключения деформации печатной платы затяжку винтов следует выполнять по диагонали с поочередным увеличением усилия.

Также необходимо учитывать особенности конструкции модулей фильтрации при их креплении в аппаратуре. В основе конструкции лежит печатная плата с элементами для поверхностного монтажа, размещенная в тонкостенном алюминиевом корпусе и залитая эластичным компаундом. Со стороны выводов на модули устанавливают печатную плату «дно». Недопустимо прилагать механические усилия к печатной плате «дно» при креплении модуля хомутом, планкой и т. п.

В заключение отметим, что работы по модулям фильтрации радиопомех выполнены совместно с сотрудниками одной из первых в России испытательной лаборатории технических средств по параметрам электромагнитной совместимости НИИ центра связи. ■

Литература

1. Руководящие технические материалы. Модули фильтрации и защиты. М.: АЭИЭП, 2011.
2. Каталог выпускаемой продукции АЭИП. Москва, весна 2012 г.