

МОДУЛИ И ДРОССЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ РАДИОПОМЕХ ДЛЯ ПИТАЮЩИХ ЦЕПЕЙ

И. Твердов, С. Затулов

ООО «Александр Электрик
источники электропитания» (АЭИЭП)
129226, Москва, пр-т Мира, 125
Тел./факс: (495) 181-05-22,
alectsan@aeip.ru www.aeip.ru

А. Морозов

Научно-исследовательский
испытательный центр связи

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



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

Для решения этой проблемы предприятие АЭИЭП, специализирующееся на производстве высокочастотных модулей 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 т.д., в основном, используются однопроводные СЭП, где один из полюсов питания заземлен на корпус или шину «Земля».

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



Рис. 1 – Модуль МРМ2

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 1000В*	Габаритные размеры (с фланцами), мм	Масса, г	Диапазон рабочей температуры корпуса, °С
				0,15-0,3 МГц	0,3-1,0 МГц	1,0-10 МГц	10-30 МГц					
DC	МРМ1	сеть В - 27 В, диапазон (0...40) сеть Д - 60 В, диапазон(0...84)	2,5	≥30	≥40	≥60	≥50	≤ 1%U _{вх} max	≤ U _{вх} + 2 В	30x20x10 (40x20x10)	20	«М» - минус 60...85
	МРМ2		5							40x30x10 (50x30x10)	30	
	МРМ3		10							47,5x33x10 (57,5x33x10)	40	
	МРМ4		20							57,5x40x10 (67,5x40x10)	60	

Модули МРМ БКЮС468240.003-01 ТУ разработаны для эксплуатации в особо жестких условиях, 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 модули выполнены в металлических корпусах с крепежными фланцами или без них (Рис. 1, 2). Модули изготавливаются с покрытием, которое обеспечивает пайку низкотемпературными припоями, что позволяет разработчикам РЭА соединять корпус модуля с шиной заземления, это увеличивает ослабление помех на высоких частотах.

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

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

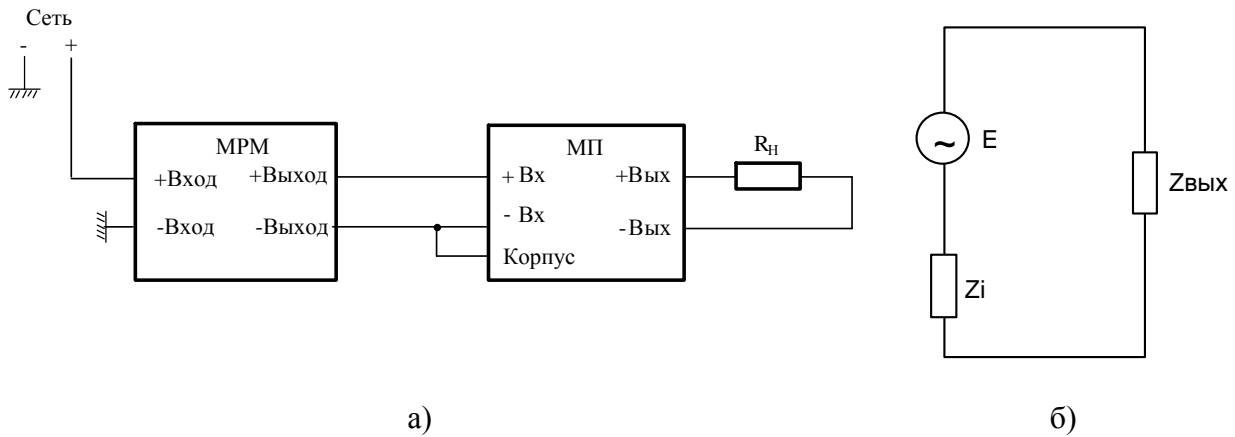


Рис. 3. а) схема однопроводного подключения модуля фильтрации МРМ к МП, б) эквивалентная схема, где E – ЭДС источника радиопомех, Z_i – его эквивалентное внутреннее сопротивление, $Z_{\text{вых}}$ – выходное сопротивление модуля фильтрации, играющее роль нагрузки.

Полные сопротивления Z_i и $Z_{\text{вых}}$ могут быть найдены из выражения $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$. В диапазоне частот от 0,15 до 30,0 МГц, в котором измеряются помехи в соответствии с Нормами, эти сопротивления меняются в широких пределах.

При использовании модулей следует учитывать, что основной параметр – 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 , $Z_{\text{вых}}$ (Рис. 3б) меняются в зависимости от частоты 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 типовые зависимости (кривые 2, 4) напряжения помех на входе модулей питания серии МДМ от частоты при токах нагрузки $I_{\text{ном}}$ и $0,5 I_{\text{ном}}$. Там же приведены значения напряжения радиопомех в соответствии с графиком 2 Норм (кривая 1), которые распространяются на большую часть радиоэлектронной аппаратуры. Как видно из графиков, при уменьшении нагрузки напряжение помех на входе МП также снижается. Для нагрузки $0,5 I_{\text{ном}}$ по сравнению с $I_{\text{ном}}$ уровень помех уменьшается на 2 – 4 дБ во всем измеряемом диапазоне частот.

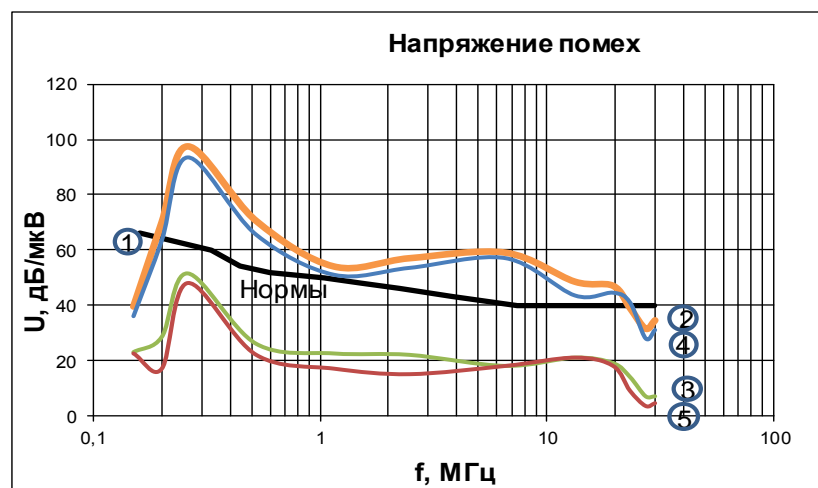


Рис. 4 – Напряжение радиопомех

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 и требуется внешняя фильтрация. Для

этих целей используются модули фильтрации, которые выпускаются АЭИЭП в широком диапазоне напряжений и токов (таблица 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 $0,5 I_{ном}$ 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:

$$K_{п} = U_1 - U_2, \quad (1)$$

где U_1 – уровень помех в дБ на входе МП без фильтра,

U_2 – уровень помех в дБ на входе МП с фильтром.

На графике 2, (Рис. 5) представлена зависимость коэффициента ослабления помех Косл модуля МРМ от частоты (измерения по ГОСТ 30429-96), на графиках 3, 4 - вычисленная по формуле (1) (измерения при нагрузках $I_{ном}$ и $0,5 I_{ном}$ соответственно). Здесь приведены нормируемые по БКЮС.468240.003-01 ТУ значения коэффициента ослабления модулей фильтрации МРМ (кривая 1), указанные в таблице 1.

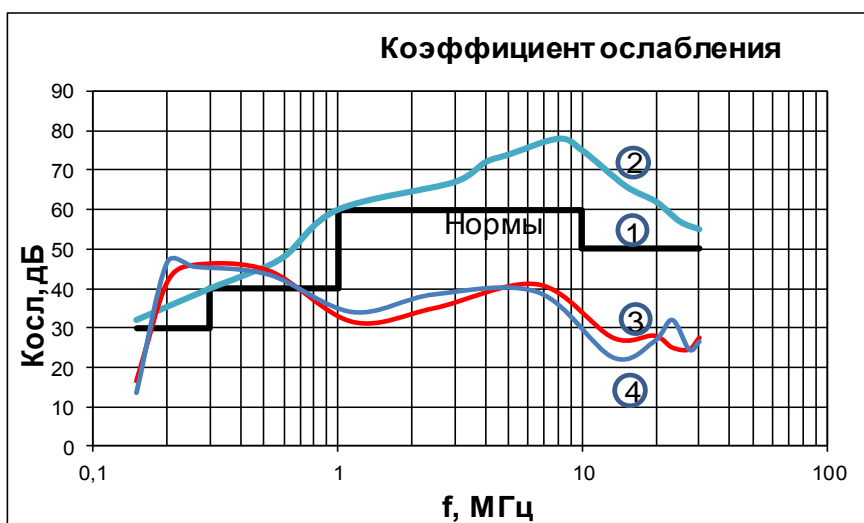


Рис. 5 – Зависимость коэффициента ослабления от частоты

Как видно из графика 3 реальный коэффициент ослабления за счет лучшего согласования сопротивления Z_i модуля питания и $Z_{вых}$ модуля фильтрации на частотах до 0,7 МГц выше норм по БКЮС.468240.003-01 ТУ. На более высоких частотах реальный коэффициент ослабления уменьшается. Как показывают измерения (Рис. 4), на этих частотах 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 показано, 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 бортсетях.

Внешние конденсаторы $C1 - C6$ (Рис. 6) устанавливаются, 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.

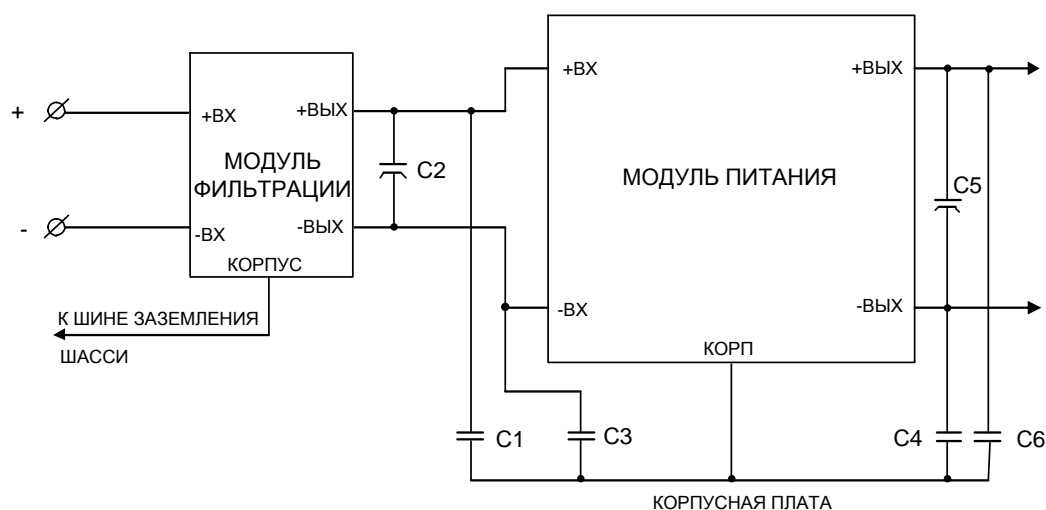


Рис. 6 Схема подключения модуля питания к модулю фильтрации

Величина емкости конденсаторов C1 - C6, где (C2, C5 – танталовые типов К52, К53), а (C1, C3, C4, C6 – керамические типов К10-47, К10-67) выбирается согласно таблицы 2.

Таблица 2 – Значение емкостей конденсаторов C1 – C6

Обозначение модуля	C2, C5, мкФ	C1, C3, C4, C6, мкФ
МРМ1	0,47	0,047
МРМ2	1,5	0,1
МРМ3	3,3	0,33
МРМ4	5,0	0,47

Вывод КОРПУС модуля фильтрации должен быть подключен к шине заземления корпуса (шасси) в точке наиболее удаленной от модулей питания. Соединение необходимо выполнить проводником с соотношением размеров 5:1, где первая величина – длина проводника, вторая – ширина.

Недопустимо соединять вывод КОРПУС модуля фильтрации с выводом КОРПУС модуля питания, который имеет высокий уровень помех. После введения этих помех в модуль фильтрации увеличивается входная несимметричная помеха.

К одному модулю фильтрации можно подключить несколько модулей питания, пока входной ток не превышает проходной ток (Рис. 7).

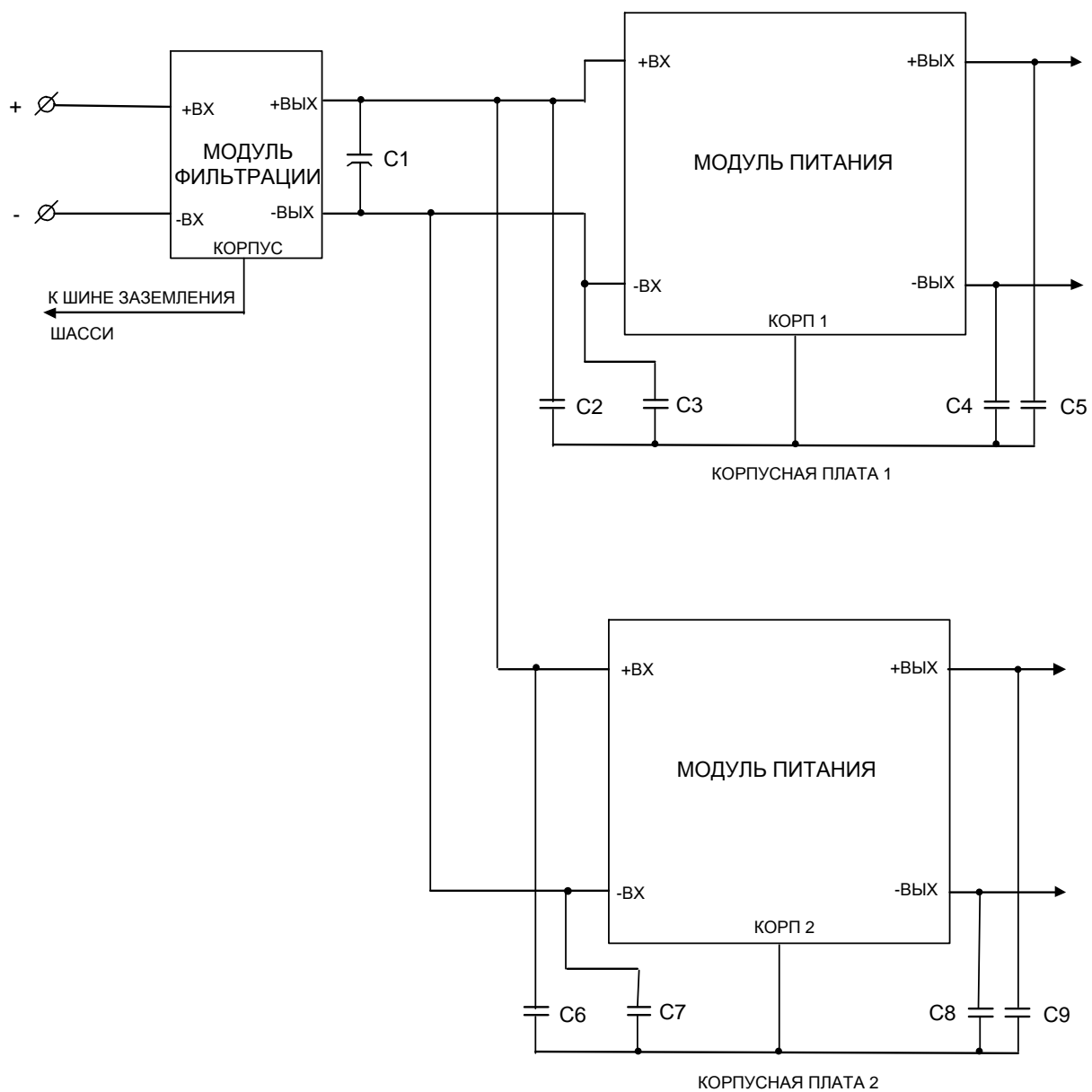


Рис. 7 Схема подключения к модулю фильтрации двух модулей питания

В однопроводных бортсетях, 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).

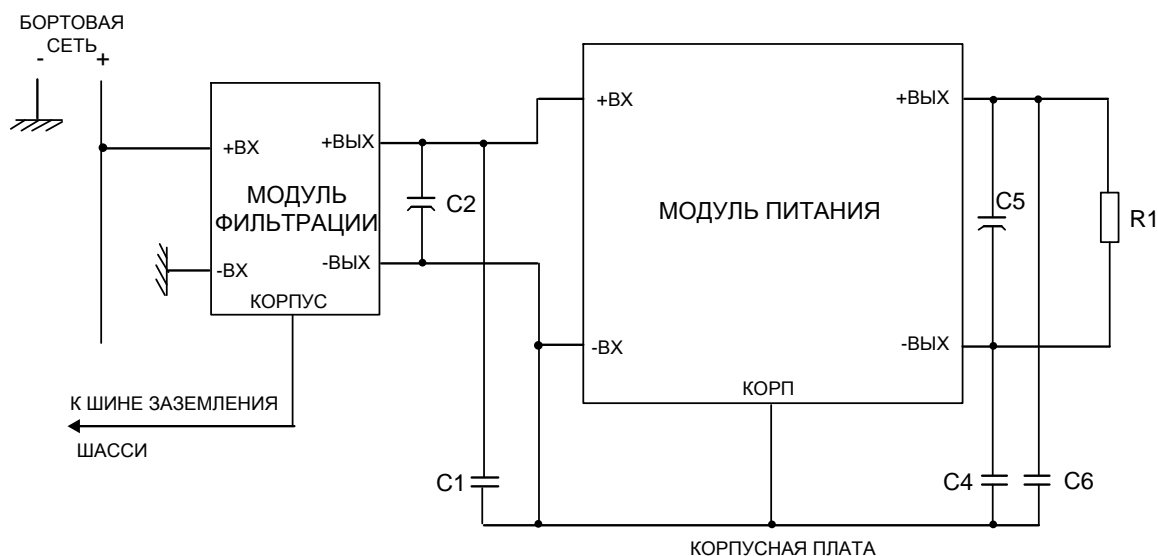


Рис. 8 Схема подключения модуля фильтрации к модулю питания в однопроводной сети с заземленным минусом.

Если заземлен положительный полюс бортсети, 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, установленным на входе МП показан на рисунке 9.

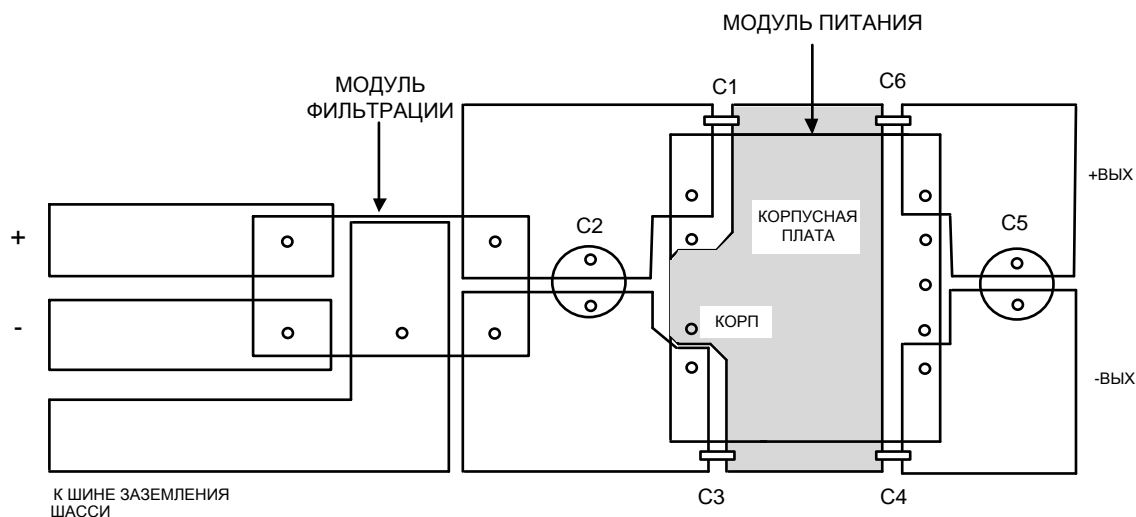


Рис. 9 Рекомендуемая разводка печатной платы

Модуль питания устанавливается на плату, в которую запаиваются конденсаторы C1, C3, C4, C6 и вывод КОРП 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.

Кроме фильтров предприятие «Александр Электрик источники электропитания» (АЭИЭП) выпускает дроссели, позволяющие создавать фильтры радиопомех в широком диапазоне токов и напряжений. Дроссели двух серий рассчитаны как на двухпроводные (ДФ), так и на однопроводные (ДФП) сети постоянного тока.

Дроссели серий ДФ и ДФП выполнены в бескорпусном, серий ДФК и ДФПК в корпусном исполнении и предназначены для использования в составе LC-фильтров для подавления несимметричной помехи в питающих цепях напряжением до 360 В и проходными токами до 20 А. Всего разработано около 250 типонаименований дросселей [2].

Дроссели устанавливаются в соответствии со схемами, приведенными на рисунке 10 и рисунке 11.

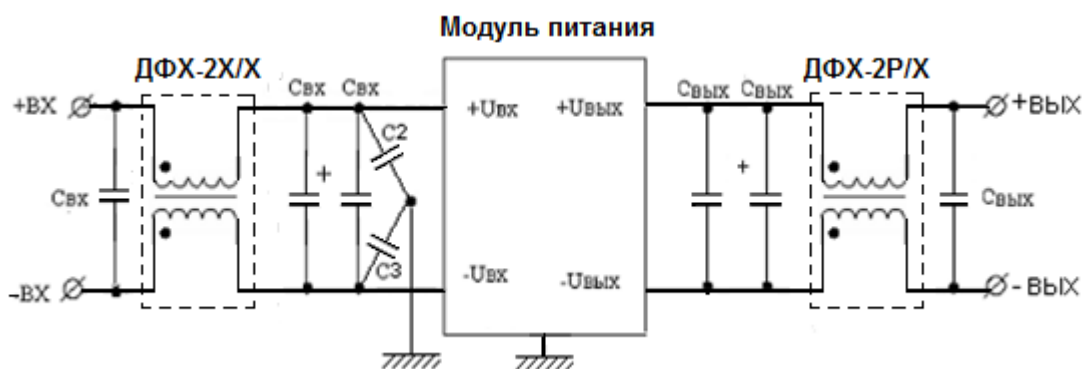


Рис. 10

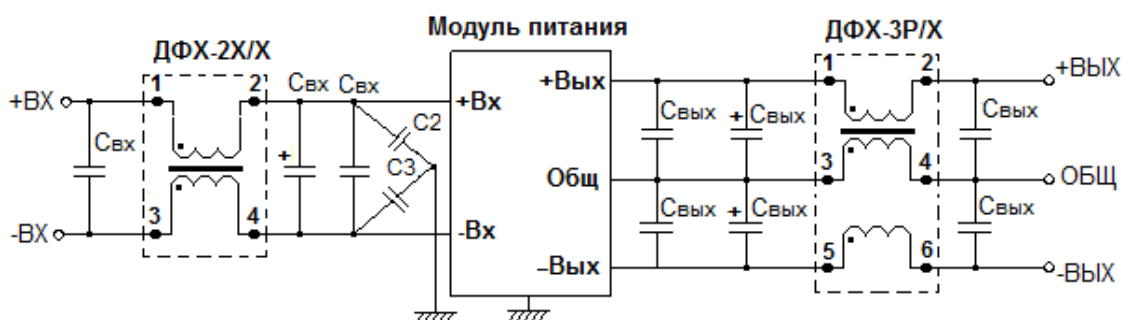


Рис. 11

Рекомендации по выбору конденсаторов фильтров в зависимости от выходной мощности модуля питания приведены в таблице 3.

Конденсаторы $C_{вх}$, $C_{вых}$, C_2 , C_3 – керамические, например, типа К10-47в.

Таблица 3

	Входное напряжение, В					Выходная мощность модуля, Вт
	12	27	60	110	230	
Свх, Свых	0,47 – 1,5 мкФ					7,5
	1 – 3 мкФ					15; 30
	2,2 – 6,8 мкФ					60; 120
	12 – 14 мкФ					240; 480
С2, С3	3,3нФ - 15нФ					Для модулей любой мощности

Дроссели серии ДФП(К) используются для создания фильтров радиопомех в однопроводных бортсетях и допускают подмагничивание проходными токами до 20 А.

Эффективность дросселей ДФ в составе фильтров радиопомех была проверена совместно с модулями питания. На рисунке 12 приведены графики напряжения радиопомех на входе модулей МДМ7,5 (кривая 4) и МДМ60 (кривая 5). Там же показаны нормированные значения напряжений радиопомех по ГОСТ 30426-96 (графики 1, 2, 3). Анализ графиков 4, 5 показывает, что уровни радиопомех превышают Нормы. После установки на входе модулей питания фильтров на основе дросселей ДФ уровни радиопомех снижаются (кривая 6) до значений графика 2.

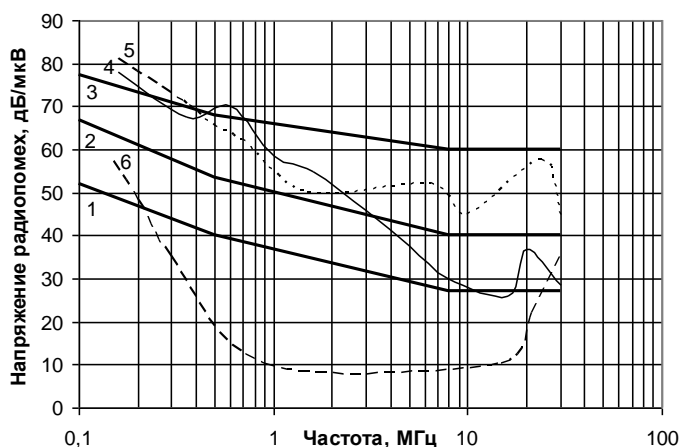


Рис. 12 – Напряжение радиопомех

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. АЭИЭП / Москва, 2011 г.
2. Каталог выпускаемой продукции АЭИЭП / Москва, весна 2012 г.
3. Сайт предприятия АЭИЭП / www.aeip.ru.