

# Модернизация сетевых фильтров радиопомех на предприятии «Александр Электрик источники электропитания» (АЭИЭП)

Игорь Твердов, к.т.н., научный консультант, АЭИЭП  
Александр Мартиросов, с.н.с., 16 ЦНИИИ МО РФ  
Сергей Затулов, менеджер направления, АЭИЭП

В статье рассматриваются сетевые модули защиты и фильтрации серий МРМ и МРР, предназначенные для защиты входных цепей аппаратуры от импульсных перенапряжений в сети и для фильтрации радиопомех от импульсных источников вторичного электропитания во входных цепях блоков питания аппаратуры. Рассмотрены также основные принципы расчета фильтров, приводятся формулы и практические рекомендации. Сообщаются реальные результаты использования модулей.

Сетевые источники вторичного электропитания (ИВЭП) с бестрансформаторным входом (БТВ) благодаря высокому энергетическим и массогабаритным характеристикам практически вытеснили традиционные. Но одновременно радиоэлектронная аппаратура (РЭА) получила в своем составе новый мощный источник радиопомех, который заметно ухудшил электромагнитную обстановку. Чтобы уменьшить помехи, в блоках питания на основе ИВЭП с БТВ как во входных, так и в выходных цепях используют фильтры радиопомех (ФРП), которые занимают до 10% объема блока.

Компаниям, выпускающим универсальные модульные ИВЭП, экономически невыгодно встраивать

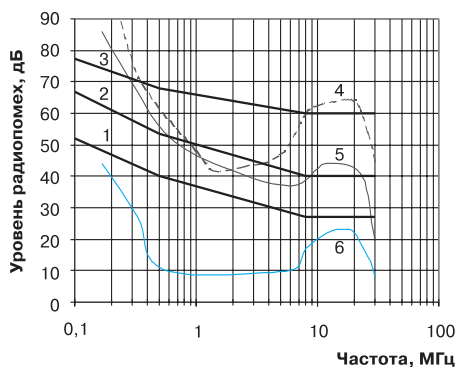
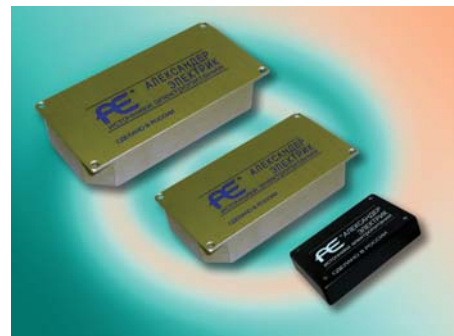


Рис. 1. График напряжения радиопомех: кривые 1–3 — нормированные значения напряжения радиопомех; кривая 4 — АС/DC-модуль питания KN30A мощностью 30 Вт; кривая 5 — АС/DC-модуль питания KV100A мощностью 100 Вт; 6 — АС/DC-модуль питания KV100A с фильтром МРР2

ФРП с большим коэффициентом подавления, так как требования потребителей к уровню помех различаются. В качестве примера на рисунке 1 приведены графики напряжения радиопомех на входе модулей питания класса АС/DC серии «Конопля KN30A» (кривая 4) и серии «Ковыль KV100A» (кривая 5) [1]. Там же показаны нормированные значения напряжений радиопомех по ГОСТу В 25803-91 в диапазоне частот 150 кГц...30 МГц (графики 1–3).

Анализ графиков на рисунке 1 показывает, что уровни радиопомех указанных модулей питания (кривые 4 и 5) превышают нормы ГОСТа, хотя модули имеют на входе и выходе встроенные фильтры [1]. В случае, когда для нормальной работы РЭА подавления радиопомех за счет встроенных фильтров недостаточно, используют внешние ФРП.

В конце 1990-х гг. на предприятии «АЭИЭП» разработаны фильтры радиопомех в модульном исполнении для питающих цепей переменного и постоянного тока. В настоящее время проведена модернизация фильтров, в них использованы новые технические решения, материалы и элементная база, что позволило повысить коэффициент подавления радиопомех и уменьшить габариты. Модернизация выполнена совместно с сотрудниками одной из первых в России испытательной лаборатории технических средств по параметрам электромагнитной совместимости (ЭМС) 16 ЦНИИИ МО РФ.



Фильтры для цепей постоянного тока подробно рассмотрены в [2]. В настоящей статье анализируются результаты разработки сетевых ФРП. Основные трудности при подавлении радиопомех в сетевых проводах связаны с требованиями безопасности, которые ограничивают допустимый ток емкостной утечки в соответствии с ГОСТом РВ 20.57.310-98 до значений не выше 6 мА. В свою очередь это ограничение препятствует увеличению емкости конденсаторов, устанавливаемых в ФРП между проводами и корпусом.

Разработанные ФРП состоят из двух Г-образных LC-звеньев, в которых одно звено подавляет помехи по симметричному пути, а другое — по несимметричному. Фильтры по такой схеме длительное время (более 20 лет) используются в технике специальной связи для подавления помех в сетях переменного тока и при заданном коэффициенте подавления радиопомех обеспечивают минимальные токи утечки на корпусе.

Из эквивалентной схемы Г-образного фильтра (см. рис. 2а:  $Z_i$  — внутреннее сопротивление источника помех,  $Z_L$ ,  $Z_C$ ,  $Z_H$  — сопротивления дросселя, конденсатора и нагрузки) нетрудно получить расчетные соотношения для определения коэффициента ослабления фильтра.

При отсутствии фильтра отношение напряжения помех на нагрузке  $U_H$  к ЭДС источника помех на входе «е» равно  $U_H/E = I_H Z_H/E = Z_H/(Z_i + Z_H)$ . Обозначим это отношение как  $1/K_{01}$ .

При наличии фильтра отношение напряжений:

$$U_H/E = I_H Z_H / e = Z_H / (Z_i + Z_L + Z_H),$$

где  $Z_H' = Z_H Z_e / (Z_H + Z_e)$ . Это соотношение обозначим  $1/K_{02}$ .

Коэффициент ослабления фильтра  $K_{oc}$  находится как отношение:

$$K_{oc} = K_{02}/K_{01} = (Z_H / (Z_i + Z_H)) \times (Z_H' / (Z_i + Z_L + Z_H)). \quad (1)$$

Если допустить, что сопротивление источника помех  $Z_i$  и сопротивление  $Z_e$  малы, а сопротивление  $Z_H$  велико, то  $Z_H' < Z_e$ ,  $Z_H / (Z_i + Z_H) \approx 1$  и:

$$(Z_i + Z_L + Z_H) / Z_H \approx 1 + Z_L / Z_e \approx Z_L / Z_e,$$

тогда  $K_{oc} = Z_L / Z_e = \omega^2 L_\Phi C_\Phi$ , где  $\omega$  — угловая частота помехи.

На частоте 0,15 МГц (нижняя граница диапазона нормируемого участка радиопомех):

$$K_{oc} = 20 \lg((L_\Phi C_\Phi) / 1,12). \quad (2)$$

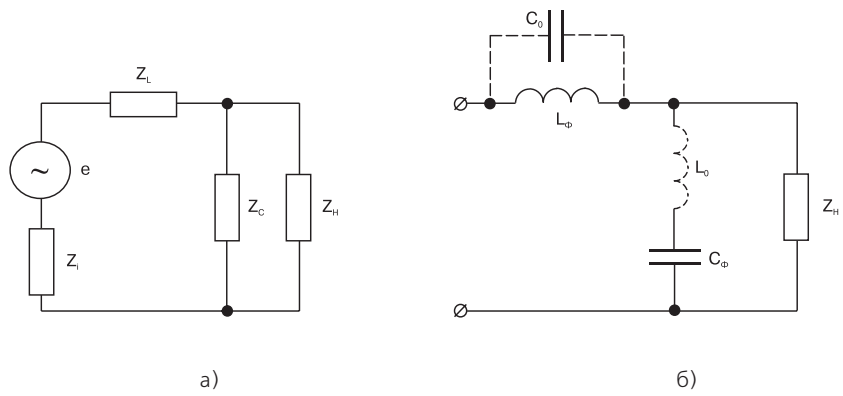


Рис. 2. Эквивалентные схемы Г-образного фильтра

Соотношение (2) позволяет вычислить  $L_\Phi$  и  $C_\Phi$  исходя из требуемого значения  $K_{oc}$ .

Из формулы (2) следует, что для получения заданного  $K_{oc}$  можно выбирать различные соотношения между величинами  $L_\Phi$  и  $C_\Phi$ . Однако при этом необходимо руководствоваться некоторыми практическими рекомендациями. При работе фильтра в цепи переменного тока 50 Гц величина  $C_\Phi$  выбирается исходя из требований техники безопасности (допустимого тока емкостной утеч-

ки). Кроме того, необходимо выполнение условия  $L_\Phi C_\Phi \geq 10$  ( $L$  в мГн,  $C$  в мкФ), с тем, чтобы собственная резонансная частота фильтра была по крайней мере в 3 раза ниже нижней точки нормируемого диапазона.

При таком приближенном определении параметров ФРП исходят из необходимости защиты от помех на нижнем частотном участке нормируемого диапазона частот, полагая при этом, что помехи на более высоких частотах будут существен-

Таблица 1. Основные параметры модулей защиты и фильтрации

Наименование модуля	Входное напряжение, В	Номинальный проходной ток, А	Подавление помех, дБ, не менее				Напряжение ограничения-защиты, В	Габариты, мм	Масса, г
			в диапазоне частот, МГц						
			0,15...0,3	0,3...1	1...10	10...30			
МРМ4-С1АМ(У)*	~220	1	25	35	60	30	430	57,5 × 40 × 10 (67,5 × 40 × 10)	50 (55)
МРР2-С3АМУ		3	25	35	55	50		107 × 56 × 19	130
МРР3-С7,5АМУ		7,5	30	40	60	45		129 × 61 × 22	200

Примечания.

\* Буква «У» в конце обозначения указывает на тип корпуса с крепежными фланцами, ее отсутствие указывает на корпус без фланцев.

Таблица 2. Технические характеристики модулей защиты и фильтрации

Входные характеристики	
Диапазон входного напряжения/Переходное отклонение (1 с) при ~220 В (50 Гц), В	187...242/154...286
Выходные характеристики	
Коэффициент ослабления радиопомех, дБ, не менее, в диапазоне частот, МГц:	
– 0,15...0,3	25
– 0,3...1	35
– 1,0...10	55
– 10...30	30
Падение напряжения на модуле	Не более 1% $U_{вх}$
Максимальное напряжение на выходе модуля, В (амплитуда), при импульсе на входе $U_{ампл} = 1000$ В, $T_{имп} = 16$ мкс, $T_{фронт} = 6,4$ мкс	430
Общие характеристики	
Температура среды, рабочая и хранения, °С	–60...70
Температура корпуса, рабочая и хранения, °С	–60...85
Повышенная влажность при 35°С, %	98
Прочность изоляции:	
– напряжение вх1/корп, вх2/корп, вых1/корп, вых2/корп, В	~1500
– сопротивление при 500 В пост. тока, МОм	20
Наработка на отказ при 25°С/85°С	Более 9,6 млн. ч/более 150 тыс. ч
Охлаждение	Естественная конвекция или радиатор
Материал корпуса	Металл

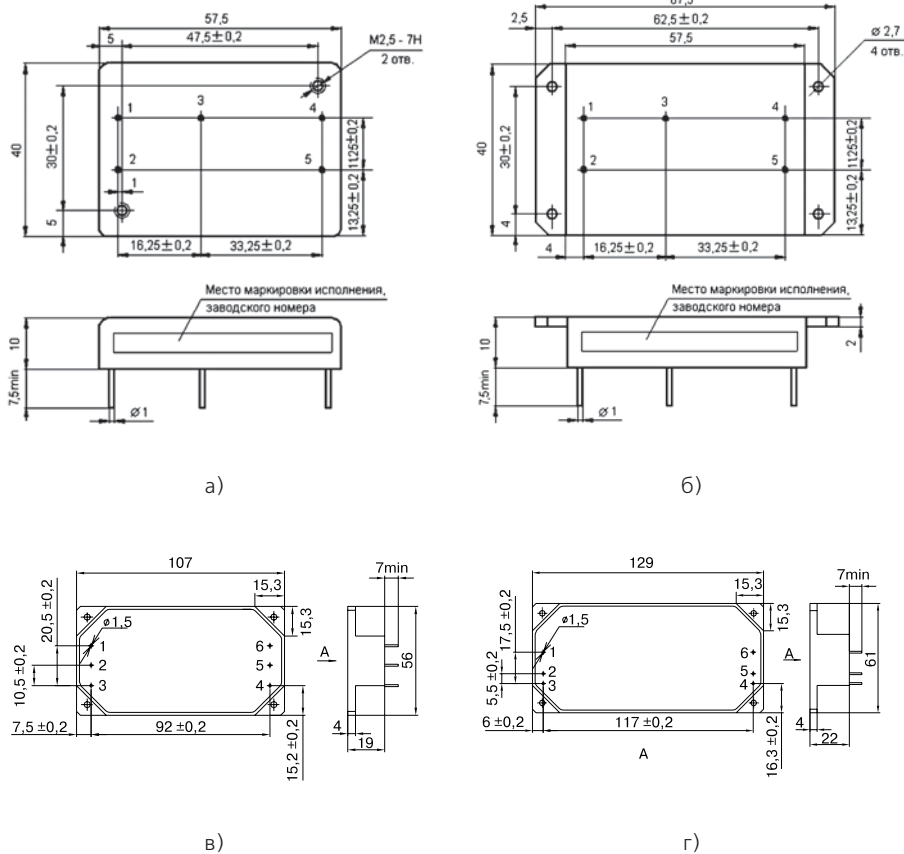


Рис. 3. Габаритные чертежи модулей защиты и фильтрации МРМ и МРР:

- а) МРМ4-корпус без фланцев; б) МРМ4-корпус с фланцами («У» в конце обозначения);
- в) МРР2 корпус с фланцами («У» в конце обозначения);
- г) МРР3-корпус с фланцами («У» в конце обозначения)

но ослаблены, поскольку с повышением частоты  $Z_e$  уменьшается, а  $Z_L$  увеличивается. Однако это может быть справедливо только для относительно небольшого диапазона частот.

Известно, что конденсаторы и дроссели имеют собственные резонансы и после резонанса сопротивление  $Z_L$  будет определяться собственной емкостью дросселя

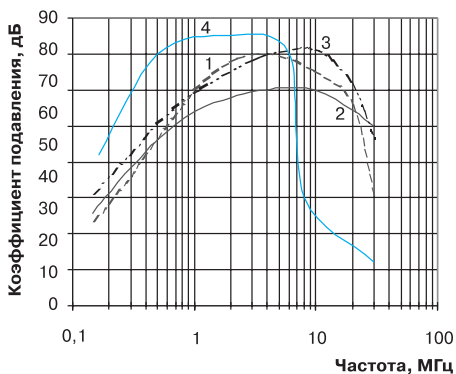


Рис. 4. Частотные характеристики коэффициента подавления:

- 1 – МРМ4; 2 – МРР2; 3 – МРР3;
- 4 – МРР2 с модулем питания KV100A

$C_0$ , а  $Z_e$  – собственной индуктивностью  $L_0$  конденсатора (см. рис. 2б). В идеальном случае необходимо иметь дроссель с емкостью  $C_0 \rightarrow 0$  и конденсатор с индуктивностью  $L_0 \rightarrow 0$ , но реализация таких требований практически невозможна. Поэтому приходится считаться с частотными характеристиками полных сопротивлений этих элементов, по которым можно определить их собственные резонансы. Такие частотные характеристики конденсаторов и дросселей были сняты в испытательной лаборатории ЭМС и использованы при выборе элементов фильтра.

Унифицированный ряд фильтров представлен модулями на токи 1...7,5 А. Основные параметры модулей приведены в таблице 1.

Технические характеристики модулей защиты и фильтрации приведены в таблице 2.

Конструкция модулей представляет собой тонкостенный алюминиевый корпус, внутри которого размещена печатная плата с элементами поверхностного и объемного монтажа, защищенная компаундом с

теплопроводящим наполнителем. В аппаратуре модули могут устанавливаться на радиатор охлаждения или на печатную плату. Для различных вариантов установки модули могут изготавливаться в двух типах корпусов – штампованном или усиленном фрезерованном с фланцами, в которых для крепления предусмотрены резьбовые втулки или отверстия во фланцах. Габаритные чертежи модулей МРМ4 в двух типах исполнения корпуса и модулей МРР2, МРР3 в усиленных фрезерованных корпусах с фланцами изображены на рисунке 3. Со стороны выводов модуль защищает припаянная к корпусу металлизированная пластина, служащая одновременно экраном для радиопомех по электромагнитному полю.

Параметры ЭМС этих модулей были проверены в испытательной лаборатории технических средств. Испытания проводились методом отношения напряжения (ГОСТ 13661-92). Результаты измерений вносимого затухания в диапазоне частот 0,1...30 МГц для модулей МРМ4, МРР2, МРР3 приведены на рисунке 4. Как видно из рисунка, коэффициент подавления помех, начиная с частоты 150 кГц, превышает 25 дБ, а в диапазоне частот 0,3...30 МГц составляет 40...70 дБ.

Согласно ГОСТу 13661-92 коэффициент подавления измерялся при сопротивлении 50 Ом на входе и выходе ФРП. Однако на практике входное высокочастотное сопротивление модулей питания меняется в широких пределах. Для определения реального коэффициента ослабления проведены испытания системы «модуль фильтрации – модуль питания». Измеренный уровень помех на входе системы показан на рисунке 1 (кривая 6). При совместной работе модуля питания и модуля фильтрации помехи на входе не превышают значений, определяемых кривой 1 (см. рис. 1).

На рисунке 4 представлена зависимость коэффициента подавления от частоты для модуля защиты и фильтрации МРР2 при работе совместно с модулем питания KV100A мощностью 100 Вт (кривая 4).

Как видно из этого графика, на частотах до 8 МГц реальный коэффициент подавления помех в системе «модуль фильтрации – модуль питания» выше, чем коэффициент подавления отдельного модуля фильтрации, измеренный по ГОСТу. Это

происходит за счет лучшего согласования сопротивлений  $Z_{вх}$  модуля питания и  $Z_{вых}$  модуля фильтрации на этих частотах.

Чтобы защитить аппаратуру от выбросов напряжения сети, одновременно с фильтром помех в модулях использованы варисторы. Для каждого номинала входного напряжения модуля был выбран свой варистор класса С, обеспечивающий наименьшее напряжение на выходных клеммах при воздействии импульса. В таблице 1 приведен основной параметр выбранных варисторов — напряжение на клеммах ограничителя. В соответствии с ГОСТом В 24425-90 это напряжение было измерено при воздействии импульса амплитудой 1000 В длительностью 10 мкс, при этом внутреннее сопротивление источника импульсов напряжения составляло 50 Ом.

Модули имеют малые габариты. Падение напряжения на модуле не превышает 1% от значения номинала входного напряжения. Напряжение, которое выдерживает изоляция токоведущих цепей модулей между собой и относительно корпуса, составляет 1500 В переменного тока (по амплитуде).

В настоящее время модули МРМ4, МРР2 и МРР3 выпускаются для общепромышленного применения в соответствии с техническими условиями БКЮС.468240.004 ТУ. Поставка опытных образцов с приемкой 5 предполагается с 3-го квартала 2005 г. [3].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Каталог ГК «Александр Электрик», 2004.

2. Твердов И., Гончаров А., Плоткин И. Новые модули фильтрации радиопомех и защиты от перенапряжений группы компаний «Александр Электрик», *Chip News*, 2004, №4.

3. Маняшин И., Плоткин С., Комаров О. «Александр Электрик источники электропитания» — производитель унифицированных модульных вторичных источников для вооружения и военной техники // *Электронные компоненты*, 2005, №4.

**Москва**

**Тел.: (095)181-19-20**

**Факс: (095)181-05-22**

**E-mail: alecsan@aeip.ru**

**www.aeip.ru**