

Модули фильтрации радиопомех и защиты

от перенапряжений для питающих цепей постоянного и переменного тока

За три последних десятилетия импульсные высокочастотные источники вторичного электропитания (ИВЭП) благодаря высоким энергетическим и массо-габаритным характеристикам практически вытеснили традиционные. Но одновременно электронная аппаратура получила в своем составе новый мощный генератор радиопомех, который заметно ухудшил электромагнитную обстановку. Чтобы уменьшить помехи во входных и выходных цепях импульсных ИВЭП, используются встроенные и внешние фильтры радиопомех (ФРП). ООО «Александр Электрик источники электропитания» (АЭИЭП) разработало несколько серий малогабаритных модулей фильтрации радиопомех, позволяющих снизить уровни помех до значений, соответствующих государственным стандартам.

**Игорь Твердов, к. т. н.
Анатолий Миронов
Сергей Затулов**

alecsan@aeip.ru

Для компаний, выпускающих универсальные модули питания, экономически невыгодно встраивать ФРП с большим коэффициентом подавления, так как требования потребителей к уровню радиопомех различны. Если для нормальной работы электронной аппаратуры недостаточно подавления радиопомех за счет встроенных фильтров, используются внешние ФРП.

Со времени первых публикаций о модулях фильтрации радиопомех предприятия АЭИЭП [1, 2] прошло почти четыре года. В настоящее время модули фильтрации с малыми габаритами и высоким коэффициентом подавления помех применяют около двухсот предприятий России, выпускающих военную и промышленную аппаратуру. По сравнению с 2004 годом спрос на модули фильтрации радиопомех увеличился более чем в 10 раз [3].



Все это время специалисты АЭИЭП продолжали совершенствовать модули фильтрации радиопомех за счет использования новых технических решений, современных материалов и элементной базы. Работы выполнялись совместно с сотрудниками испытательной лаборатории технических средств по параметрам электромагнитной совместимости (ИЛ ТС ЭМС), основанной в 1946 г. С. А. Лютовым, одной из первых в России.

Прежде всего была выполнена оптимизация модулей фильтрации, предназначенных для совместной работы с высокочастотными импульсными модулями питания АЭИЭП. Для этой цели были измерены напряжения радиопомех модулей питания всех выпускаемых серий [4].

На рис. 1 приведены графики напряжения радиопомех на входе низкопрофильных модулей питания класса DC/DC серии «Мираж» — МДМ7,5 (кривая 4) и МДМ30 (кривая 5), а на рис. 2 — графики для модулей питания класса AC/DC KN50A (кривая 4) и KR100A (кривая 5). Напряжения помех измерялись по методике согласно ГОСТ 30429-96 в экранированной камере. Кроме того, на рис. 1–2 показаны нормы напряжения радиопомех по ГОСТ 30429-96 (ГОСТ В 25803-91) в диапазоне частот 150 кГц – 30 МГц (графики 1–3). Из сравнения результатов измерений помех исследуемых модулей с нормами ГОСТ 30429-96 следует, что уровни радиопомех значительно выше всех норм в начале нормируемого участка в диапазоне частот 1,5–5 МГц, и превышают значения графика 2 на 5–15 дБ, и только после 5 МГц приближаются или ниже значений этого графика (нормы напряжения радиопомех графика 2 распространяются

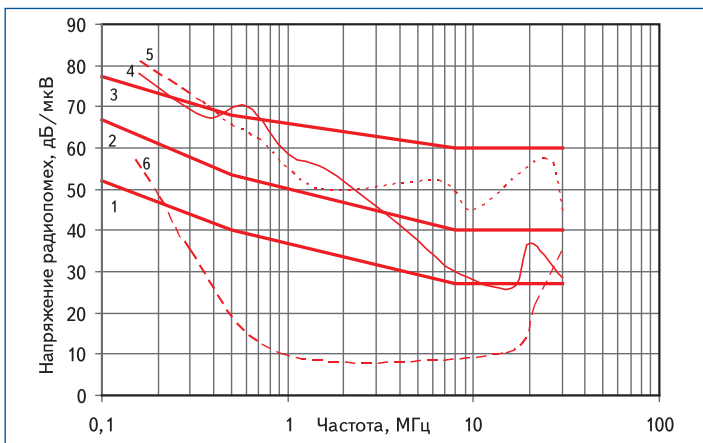


Рис. 1. График напряжения радиопомех (кривые 1-3 – нормированные значения; кривые 4-6 – напряжения радиопомех на входе модулей питания DC/DC серии "Мираж").

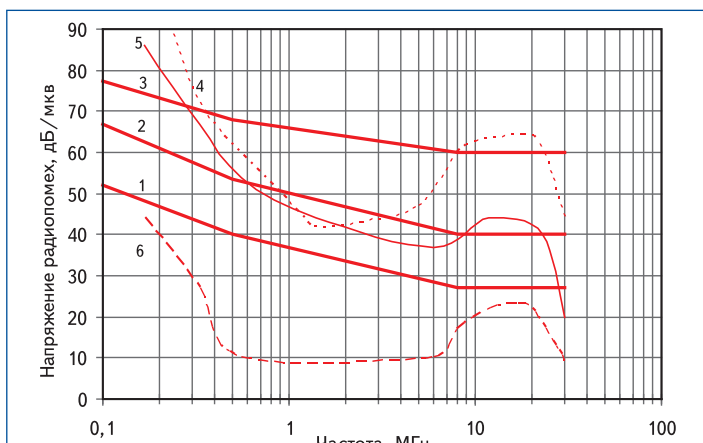


Рис. 2. График напряжения радиопомех (кривые 1-3 – нормированные значения; кривые 4-6 – напряжения радиопомех на входе модулей питания AC/DC серий KN, KR).

Таблица 1

Наименование модуля	Входное напряжение, В	Напряжение ограничения-защиты, В	Номинальный проходной ток, А	Макс. имп. ток, кА
МРМ1-В2,5ДМУ*	= 27	= 47	2,5	0,25
МРМ1-Д2,5ДМУ	= 60	= 100	2,5	0,25
МРМ2-В5ДМУ	= 27	= 47	5	0,5
МРМ2-Д5ДМУ	= 60	= 100	5	0,5
МРМ3-В10ДМУ	= 27	= 47	10	1
МРМ3-Д10ДМУ	= 60	= 100	10	1
МРМ4-В20ДМУ	= 27	= 47	20	2
МРМ4-Д20ДМУ	= 60	= 100	20	2

*Буква «у» в конце обозначения указывает на тип корпуса с крепежными фланцами, без «у» — корпус без фланцев

Таблица 2

Наименование модуля	Проходной ток, А	Габаритные размеры, мм		Масса не более, г	
		типовой корпус	усиленный корпус	типовой корпус	усиленный корпус
МРМ1	2,5	30 × 20 × 10	40 × 20 × 10	25	30
МРМ2	5	40 × 30 × 10	50 × 30 × 10	30	35
МРМ3	10	47,5 × 33 × 10	57,5 × 33 × 10	35	40
МРМ4	20	57,5 × 40 × 10	67,5 × 40 × 10	45	55

Таблица 3

Наименование модуля	Входное напряжение, В	Напряжение ограничения-защиты, В	Номинальный проходной ток, А	Макс. имп. ток, кА
МРМ4-К1АМУ	~115	= 240	1	2,5
МРМ4-С1АМУ	~220	= 430	1	2,5
МРР2-К3АМУ	~115	= 240	3	8
МРР2-С3АМУ	~220	= 430	3	8
МРР3-К7,5АМУ	~115	= 240	7,5	25
МРР3-С7,5АМУ	~220	= 430	7,5	25
МРР2-К7,5АМУ	~115	= 240	7,5	8
МРР2-С7,5АМУ	~220	= 430	7,5	8
МРР3-К15АМУ	~115	= 240	15	25
МРР3-С15АМУ	~220	= 430	15	25

Таблица 4

Наименование модуля	Проходной ток, А	Ток утечки, мА	Габаритные размеры, мм		Масса не более, г	
			типовой корпус	усиленный корпус	типовой корпус	усиленный корпус
МРМ4	1,0	1	57,5 × 40 × 10	67,5 × 40 × 10	50	55
МРР2	3 (7,5)	3 (5)	-	107 × 56 × 19	-	230
МРР3	7,5 (15)	5 (5)	-	129 × 61 × 22	-	380

на большую часть оборудования стационарных объектов с радиоэлектронной аппаратурой). Таким образом, модули питания могут оказывать существенное воздействие на средства радиосвязи в диапазоне от длинных до ультракоротких волн. Чтобы обеспечить высокие требования ГОСТов по радиопомехам, АЭИЭП выпускает модули фильтрации в широком диапазоне напряжений и токов. Кроме фильтров радиопомех модули снабжены варисторами для ограничения импульсных выбросов напряжения. Известно, что импульсы с амплитудой до 1000 В и длительностью до 10 мкс встречаются в сетях переменного тока и с амплитудой до 150 В — в бортовых сетях постоянного тока и часто выводят электронную аппаратуру из строя.

Унифицированный ряд фильтров для питающих цепей постоянного тока представлен модулями на токи от 2,5 до 20 А (Таблица 1, 2), а для питающих цепей переменного тока — модулями на токи от 1 до 15 А (Таблица 3, 4).

Далее приводятся технические характеристики для модулей фильтрации питающих цепей постоянного тока. Данные приводятся для НКУ, $U_{вх.ном}$, $I_{прох.ном}$ (если не указано иначе).

- Входные характеристики:
- диапазон входного напряжения / переходное отклонение (1 с):
 - 27 В: 10,5...36 В / 10,5...40 В;
 - 60 В: 17...72 В / 17...84 В.
 - выходные характеристики:
 - коэффициент ослабления радиопомех в диапазоне частот:
 - от 0,15 до 0,3 МГц ≥ 30 дБ;
 - от 0,3 до 1 МГц ≥ 40 дБ;
 - от 1,0 до 10 МГц ≥ 60 дБ;
 - от 10 до 30 МГц ≥ 55 дБ.
 - падение напряжения на модуле: ≤ 2% $U_{вх.ном}$. Максимальное напряжение на выходе модуля при импульсе на входе:

$U_{имп} = 1000 В, T_{имп} = 50 мкс,$ $T_{фронт} = 1 мкс$	При $U_{вх} = 27 В$	80 В
	При $U_{вх} = 60 В$	110 В

- Общие характеристики:
- Температура окружающей среды (рабочая и хранения): -60...+70 °С.
 - Температура корпуса (рабочая): -60...+85 °С.
 - Повышенная влажность: 98% @ 35 °С.

- Прочность изоляции:
 - напряжение (амплитудное значение):
 - +вх/корп, –вх/корп, +вых/корп, –вых/корп:
 - ~115 В (400 Гц): 80,5...138 В / 80,5...150 В:
 - сопротивление @ 500 В пост. тока: 20 МОм.
 - Нароботка на отказ:
 - > 6,4 млн час. @ +25 °С;
 - > 100 тыс. час. @ +85 °С.
 - Охлаждение: естественная конвекция или радиатор.
 - Материал корпуса: металл.
 - Ниже приводятся технические характеристики для модулей фильтрации питающих цепей переменного тока. Данные приводятся для НКУ, $U_{вх.ном}$, $I_{прох.ном}$ (если не указано иначе).
 - Входные характеристики:
 - диапазон входного напряжения / переходное отклонение (1 с):
 - ~115 В (400 Гц): 80,5...138 В / 80,5...150 В;
 - ~220 В (50 Гц): 187...242 В / 176...264 В.
 - Выходные характеристики:
 - коэффициент ослабления радиопомех в диапазоне частот:
 - от 0,15 до 0,3 МГц ≥ 25 дБ;
 - от 0,3 до 1 МГц ≥ 35 дБ;
 - от 1,0 до 10 МГц ≥ 55 дБ;
 - от 10 до 30 МГц ≥ 30 дБ.
 - падение напряжения на модуле: $\leq 1\% U_{вх.ном}$

$U_{ампл} = 1000$ В, $T_{имп} = 50$ мкс, $T_{фронт} = 1$ мкс	При $U_{вх} \sim 115$ В	= 240 В
	При $U_{вх} \sim 220$ В	= 430 В

- Общие характеристики:
- Температура окружающей среды (рабочая и хранения): –60...+70 °С.
 - Температура корпуса (рабочая): –60...+85 °С.
 - Повышенная влажность: 98% @ 35 °С.
 - Прочность изоляции:
 - напряжение (действующее значение):
 - вх1/корп, вх2/корп, вых1/корп, вых2/корп:
 - ~1500 В.
 - сопротивление @ 500 В пост. тока: 20 МОм.
 - Нароботка на отказ:
 - > 9,6 млн час. @ +25 °С;
 - > 150 тыс. час. @ +85 °С.
 - Охлаждение: естественная конвекция или радиатор.

- Материал корпуса: металл.
 - 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 можно устанавливать на радиатор охлаждения или на печатную плату. Для различных вариантов установки предусматриваются два типа корпусов модулей — с фланцами и без фланцев, в которых для крепления используются резьбовые втулки или отверстия во фланцах.

С 2006 года корпуса модулей изготавливаются с покрытием, обеспечивающим пайку низкотемпературными припоями, что позволяет разработчикам электронной аппаратуры соединять корпус с конденсаторами фильтров радиопомех, увеличивая их эффективность, на частотах свыше 5 мГц на 10–15 дБ. На модули также устанавливаются опаемые донышки, которые обеспечивают механическую защиту элементов и являются экраном от излучаемых радиопомех. С целью увеличения прочности изменена технология изготовления модулей: давление и фрезерование корпусов заменено на литье.

Для модулей фильтрации радиопомех в питающих цепях постоянного тока был использован индуктивно-емкостной Т-образный фильтр. Чтобы обеспечить эффективное подавление помехи в начале нормируемого участка диапазона частот, в дросселях фильтров были выбраны индуктивности от 0,7 до 1 мГн. Две катушки индуктивности на общем ферритовом сердечнике включены так, чтобы несимметричные токи в обоих проводах протекали в одном направлении от начала до конца обмоток. Малые габариты дросселей получены за счет использования ферритовых сердечников с высоким μ .

При разработке фильтров было установлено, что несимметричное входное и выходное сопротивление модулей питания имеют высокое значение, и фильтры должны начинаться с емкости. Установка конденсаторов с целью трансформации внутреннего высокочастотного сопротивления на входе и выходе модуля питания показана на рис. 3.

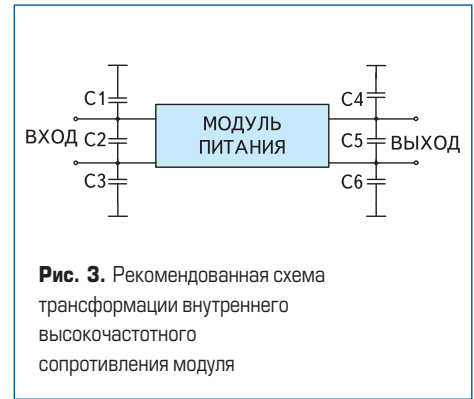


Рис. 3. Рекомендованная схема трансформации внутреннего высокочастотного сопротивления модуля

Конденсаторы C1, C3, C4, C6 использованы для коррекции сопротивления несимметричной помехи, C2, C5 — симметричной. Значения емкости этих конденсаторов приведены в ТУ на модули.

В процессе эксплуатации некоторые потребители указали на неудобство применения модулей фильтрации с внешними элементами, требующими дополнительного «драгоценного» места. В 2007 году разработаны модули с открытым выходом на основе Г-образного LC-фильтра, лишенные этого недостатка, т. к. все элементы, необходимые для обеспечения заданных параметров фильтрации, размещены внутри корпуса.

При разработке модулей фильтрации радиопомех в питающих цепях переменного тока основные трудности были связаны с обеспечением требований безопасности, которые ограничивают допустимый ток емкостной утечки в соответствии с ГОСТ РВ 20.57.310-98 до значений не выше 6 мА. В свою очередь, это ограничение препятствует увеличению емкости конденсаторов, которые устанавливаются в ФРП между проводами и корпусом и шунтируют радиопомехи.

ФРП для питающих цепей переменного тока состоят из двух Г-образных LC-звеньев, в которых одно звено подавляет помехи по симметричному пути, другое — по несимметричному. Фильтр по такой схеме длительное время используется в технике специальной связи (более 20 лет) для подавления помех в сетях переменного тока, а также при заданном коэффициенте подавления радиопомех обеспечивает минимальные токи утечки на корпусе [2].

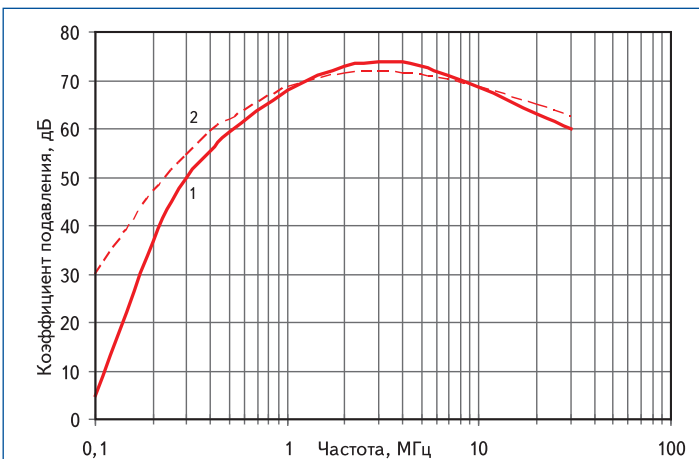


Рис. 4. Частотные характеристики коэффициента подавления модулей защиты и фильтрации постоянного тока 1 – MPM1; 2 – MPM3

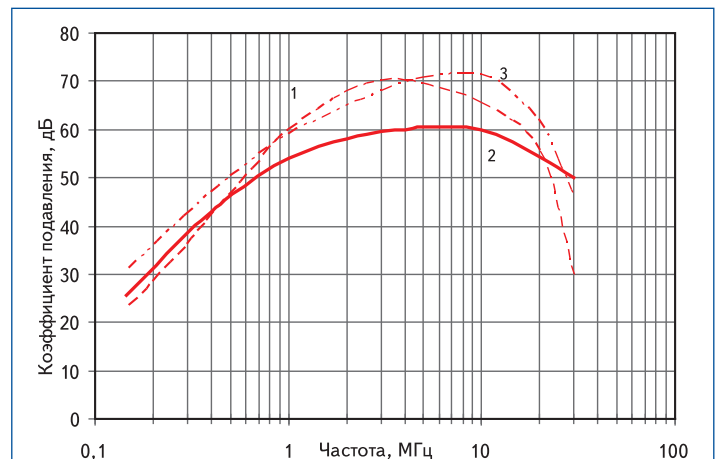


Рис. 5. Частотные характеристики коэффициента подавления сетевых модулей защиты и фильтрации тока 1 – MPM4; 2 – MPP2; 3 – MPP3

Модули были проверены в испытательной лаборатории технических средств по параметрам электромагнитной совместимости. Испытания проведены методом отношения напряжения, изложенным в ГОСТ 13661-92. Результаты измерений вносимого затухания К дБ в диапазоне частот 0,1–30 МГц для модулей фильтрации питающих цепей постоянного тока приведены на рис. 4: кривая 1 — для модулей МРМ1 и кривая 2 — для МРМ3. Как видно на рис. 4, коэффициент подавления помех, начиная с частоты 150 кГц, превышает 35 дБ, а в диапазоне частот 0,3–30 МГц составляет 50–70 дБ.

Результаты измерений коэффициента подавления для сетевых модулей фильтрации приведены на рис. 5. Анализ графиков показывает, что коэффициент подавления помех, начиная с частоты 150 кГц, превышает 25 дБ, а в диапазоне частот 0,3–30 МГц составляет 40–70 дБ.

Согласно ГОСТ 13661-92, коэффициент подавления измеряется 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 подавления проведены испытания системы «модуль фильтрации — модуль питания». Измеренный уровень помех на входе в системе модуль фильтрации МРМ2 и модуль питания МДМ30 показан на рис. 1, (кривая 6), в системе МРР2 и КR100А — на рис. 2 (кривая 6). При совместной работе модуля питания и модуля фильтрации помехи на входе не превышают значений, определяемых графиком 1 и 2 Норм.

Еще одна из последних разработок АЭИЭП связана с однопроводными фильтрами. Известно, что однопроводные бортсети получили широкое распространение в промышленной и военной технике. Такие бортсети широко применяются, например, в авиационной (ГОСТ 19705-89), автомобильной и гусеничной технике (ГОСТ В 21999-86), аппаратуре связи. Характерная особенность таких электросетей: один из полюсов питания электрически соединен с корпусом аппарата (шасси самолета, автомобиля). Кроме того, зачастую необходимо иметь локальные питающие цепи с малым уровнем помех и пульсаций напряжения.

Перечисленные задачи можно решить с помощью неполярных однопроводных поме-

Таблица 5

Внутреннее сопротивление ИИП4000, Ом	Напряжение на клеммах, В	
	Варистор	ПОН
50	550	510
20	600	540
10	630	560
2	700	630

хоподавляющих модулей защиты и фильтрации серии МРО. Эти приборы разработаны в ходе выполнения ОКР «Пустынный» и ориентированы на выпуск с приемкой «5».

Однопроводные модули фильтрации и защиты выпускаются на токи 2,5, 5, 10 и 20 А и работают при максимальном входном напряжении до 40 и 84 В. Внутреннее падение напряжения при максимальном токе не более, соответственно, 200 и 420 мВ. Коэффициент подавления помех в диапазоне частот 0,15–30 МГц находится в пределах 40–70 дБ (рис. 6).

Как уже отмечалось, для защиты аппаратуры от выбросов напряжения в сетевых проводах в модулях одновременно с фильтром помех размещены варисторы. Для каждого номинала входного напряжения модуля был выбран варистор класса С, обеспечивающий наименьшее напряжение на выходных клеммах при воздействии импульса. В табл. 1, 3 приведен основной параметр выбранных варисторов — напряжение на клеммах ограничителя. В соответствии с ГОСТ В 234425-90 это напряжение было измерено при воздействии импульса амплитудой 1000 В длительностью 10 мкс, при этом внутреннее сопротивление источника, генерирующего импульсы напряжения с данными параметрами устанавливалось равным 50 Ом.

По требованию заказчика в модули вместо варисторов могут быть установлены полупроводниковые ограничители напряжения (ПОН). Как показали испытания, ПОН при одинаковых размерах с варистором имеет более высокую перегрузочную способность и меньшие клеммные напряжения. Испытания проведены в соответствии с методиками, изложенными в ГОСТ Р51317.1.5.-99. В качестве генератора был использован имитатор импульсных помех ИИП4000. Результаты изме-

рений напряжения на клеммах ограничителя и варистора приведены в табл. 5.

Испытания проводились одиночными импульсами с амплитудой 1000 В, запуск имитатора ИИП4000 проводился вручную. После подачи второго импульса от имитатора с сопротивлением Ri, равным 2 Ом, варистор с диаметром 20 мм вышел из строя, ПОН с такой же площадью полупроводниковой шайбы работал в режиме ограничения. На наш взгляд, применение ПОН предпочтительнее в цепях, где импульсная помеха кондуктивная от источников с малым внутренним сопротивлением.

Модули имеют малые габариты, падение напряжения на модуле не превышает 2% от значения номинала входного напряжения. Напряжение, которое выдерживает изоляция токоведущих цепей модулей относительно корпуса, составляет для модулей постоянного тока 500 В, для переменного — 1500 В.

Модули фильтрации цепей питания постоянного тока выпускаются для общепромышленного применения в соответствии с БКЮС. 468240.003 ТУ. Поставка опытных образцов с приемкой «5» осуществляется в рамках ОКР «Пустынный Д».

Сетевые модули фильтрации радиопомех выпускаются в соответствии с техническими условиями БКЮС.468240.004 ТУ. Поставка опытных образцов с приемкой «5» осуществляется в рамках ОКР «Пустынный А».

Авторы выражают благодарность начальнику ИЛ ТС ЭМС А. Г. Мартиросову за оказанную помощь при измерениях и за рекомендации при оптимизации параметров фильтров.

Литература

1. Твердов И. и др. Новые модули фильтрации радиопомех и защита от перенапряжения // Chip New. 2004. № 3.
2. Твердов И. В., Мартиросов А. Г., Затулов С. Л. Модернизация сетевых фильтров радиопомех на предприятии «Александр Электрик источники электропитания // Электронные компоненты. 2005. № 8.
3. Филатьев А. Анализ российского рынка модулей вторичного питания малой и средней мощности // Производство источников электропитания промышленного и специального назначения. М., 2006.
4. Каталог продукции АЭИЭП на диске. 2007. Осень.

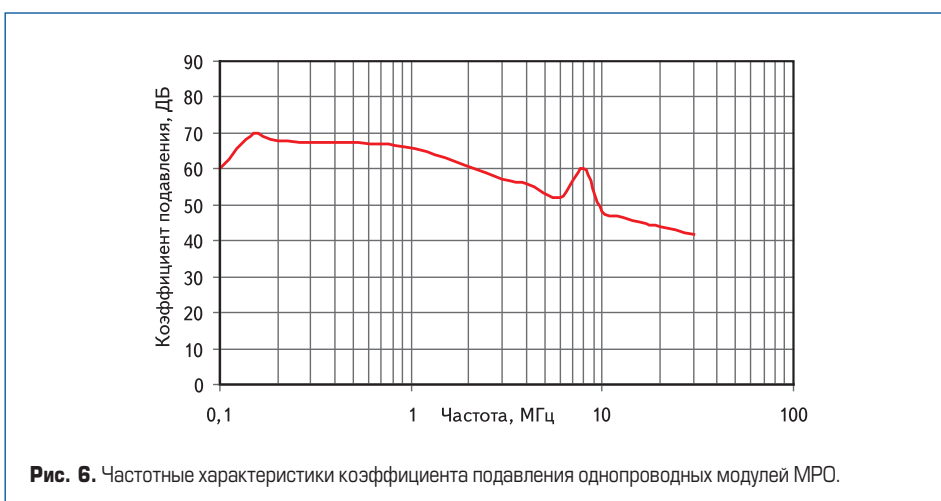


Рис. 6. Частотные характеристики коэффициента подавления однопроводных модулей МРО.