

# Дроссели для однопроводных и двухпроводных фильтров радиопомех в сетях постоянного тока

Сергей ЗАТУЛОВ  
zatulov@aeip.ru

В статье рассматриваются унифицированные дроссели фильтрации радиопомех серий ДФ, ДФК, ДФП и ДФПК, предназначенные для применения в одно- и двухпроводных цепях постоянного тока напряжением до 400 В, а также в выходных двухполярных цепях с общей точкой. По своим характеристикам они близки к современным дросселям ведущих зарубежных компаний и значительно превосходят аналогичную отечественную продукцию специального назначения.

Дроссель в LC-фильтрах радиопомех является прецизионным элементом (рис. 1). Изготовление малогабаритных дросселей с удовлетворительными частотными характеристиками возможно только на специализированных предприятиях.

В настоящее время основными отечественными изготовителями дросселей для фильтров радиопомех в цепях постоянного тока являются ОАО «Стрела», ОАО «Мстатор», ОАО «Георгиевский трансформаторный завод» и ООО «Александр Электрик источники электропитания». Применяются также дроссели иностранного производства, одной из ведущих компаний является фирма Epcos.

Основные электрические характеристики дросселей приведены в таблице 1.

Анализ электрических и удельных массогабаритных параметров дросселей фильтрации для спецтехники (таблица 1) показывает, что среди изделий, выпускаемых с приемкой «5», наибольшей универсальностью обладают дроссели фильтрации серий ДФ, ДФК, ДФП и ДФПК компании «Александр Электрик источники электропитания» (АЭИЭП). Они работают в широком диапазоне частот и имеют более высокие удельные характеристики по сравнению с другими рассмотренными изделиями.

Выполнение дросселей серий ДФ и ДФК с компенсацией рабочего тока позволяет эффективно подавлять несимметричную помеху.

Модели серии ДФ выполнены в бескорпусном, а ДФК — в корпусном исполнении по двух- и трехобмоточной электрическим схемам с компенсацией рабочего тока и рассчитаны на ток до 20 А и напряжение до 400 В. В составе LC-фильтров они эффективно подавляют помехи в диапазоне частот 0,009–100 МГц.

Модели серии ДФП выполнены в бескорпусном, а ДФПК — в корпусном исполнении и имеют две обмотки с рабочим током до 20 А. Они эффективно подавляют помехи в диапазоне частот 0,05–100 МГц.

Дроссели предназначены для работы как во входных, так и в выходных цепях источников питания.

Дроссели серии ДФК и ДФПК соответствуют требованиям КГВС «Климат-7».

Модели серии ДФ и ДФП в бескорпусном исполнении применяются в составе аппаратуры, обеспечивающей герметизацию и защиту дросселей от воздействия влаги, конденсированных осадков (иней, роса), пониженного и повышенного атмосферного

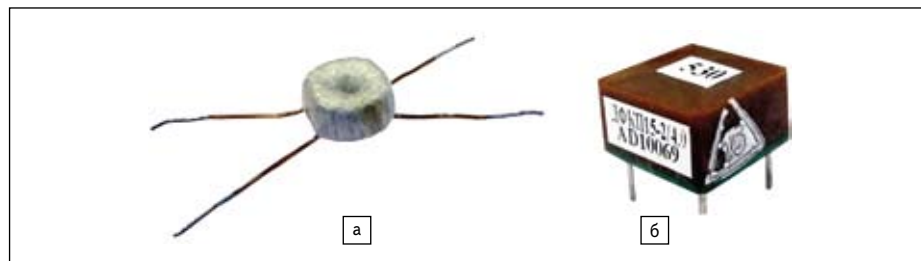


Рис. 1. Дроссели фильтрации: а) серии ДФ в бескорпусном исполнении; б) серии ДФК в корпусном исполнении

Таблица 1. Основные электрические характеристики дросселей фильтрации, применяемых в спецтехнике

Обозначение	Предприятие-изготовитель	Функциональное назначение	Основные технические характеристики	Максимальные габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	Удельная энергетическая плотность, мГн·А <sup>2</sup> /дм <sup>3</sup>	Наличие в перечне МОП44001
Д13	ОАО «Стрела»	Дроссели выходных фильтров импульсных стабилизаторов	L = 0,005–5 мГн I = 0,5–16 А f = 0,05–200 кГц T <sub>окр</sub> = –60...+85 °С	36×36×16	0,06	Есть
Д, ОСД	ОАО «Мстатор»	Высокочастотные дроссели	L = 1–470 мГн I = 0,08–3 А T <sub>окр</sub> = –60...+85 °С	(Д×В) 22,1×7,4	0,01	Есть
ДМ	ОАО «Георгиевский трансформаторный завод»	Высокочастотные дроссели	L = 1–500 мГн I = 0,1–3 А T <sub>окр</sub> = –60...+100 °С	(Д×В) 21,5×5,1	0,02	Есть
ДФ, ДФК	ООО «Александр Электрик источники электропитания»	Дроссели фильтрации несимметричных помех для входных и выходных цепей	L = 0,005–14,3 мГн I = 0,1–20 А f = 9 кГц...100 МГц T <sub>окр</sub> = –60...+105 °С	26×26×12	10,4	Есть
ДФП, ДФПК		Дроссели фильтрации симметричных и несимметричных помех для входных и выходных цепей, дроссели импульсных ИП				
B82723A/J	Epcos	Синфазные дроссели для входных цепей	L = 0,45–56 мГн I = 0,5–8 А f = 10 кГц...10 МГц T <sub>окр</sub> = –25...+40 °С	27×28×16,8	1,1	–

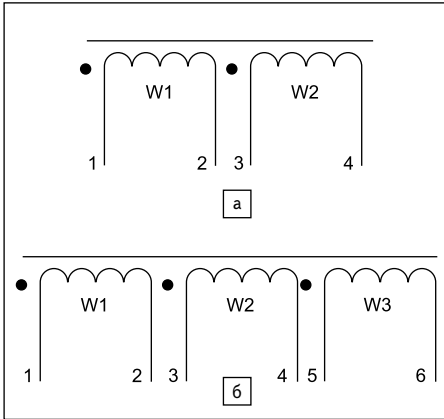


Рис. 2. Схема ДФ и ДФК: а) двухобмоточная; б) трехобмоточная

давления, соляного (морского) тумана, плесневых грибов.

Дроссели фильтрации радиопомех серий ДФ и ДФК по принципу работы представляют собой компенсированные по току нагрузки дроссели, выполненные по двухобмоточной (рис. 2а) и трехобмоточной (рис. 2б) схеме, и предназначены для фильтрации несимметричных помех.

Дроссели выполнены на кольцевых магнитопроводах. Обмотки по рабочему току в цепь нагрузки включаются встречно, в результате магнитные потоки компенсируются.

Сердечники дросселей из нанокристаллического материала на основе железа выбраны с высоким значением относительной магнитной проницаемости, что позволило получить необходимую индуктивность при минимальном числе витков и минимальной проходной емкости. Эти сердечники отличаются не только широким рабочим температурным диапазоном, но и высокой температурной стабильностью. Для снижения проходной емкости и во избежание множественных резонансов на частотной характеристике обмотки мотаются в один слой.

В двухпроводных сетях дроссели устанавливаются в соответствии со схемами, приведенными на рис. 3.

Рекомендуемые значения конденсаторов фильтров в зависимости от выходной мощности  $P_{\text{ВЫХ}}$  модуля питания приведены в таблице 2. Как выбрать дроссель, будет сказано позднее.

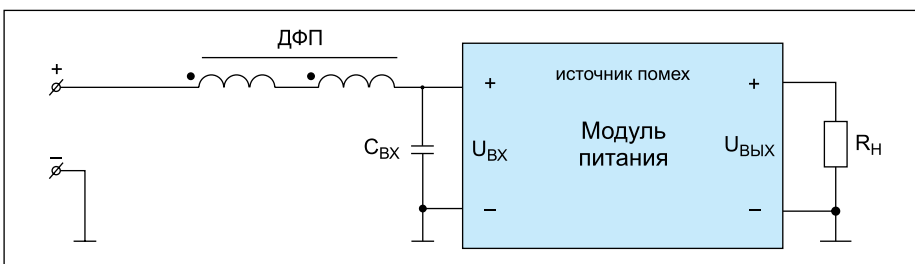


Рис. 5. Схема включения дросселей ДФП и ДФПК в составе LC-фильтра совместно с модулем питания в однопроводную бортовую сеть

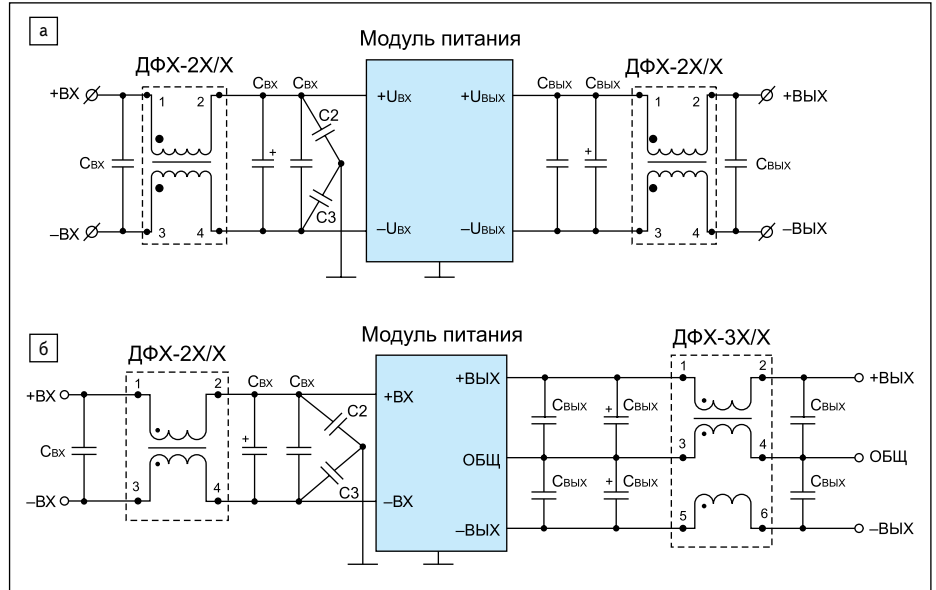


Рис. 3. Схема включения дросселей ДФ и ДФК в составе LC-фильтров в двухпроводную сеть совместно: а) с одноканальным модулем питания; б) с двухканальным модулем питания с общей точкой

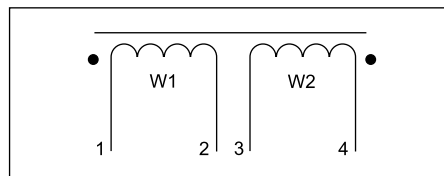


Рис. 4. Двухобмоточная схема ДФП и ДФПК

Конденсаторы  $C_{\text{ВХ}}$ ,  $C_{\text{ВЫХ}}$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  — керамические, например типа К10-47в.

Дроссели серий ДФП и ДФПК используются в основном для создания фильтров радиопомех в однопроводных бортовых сетях и допускают подмагничивание проходным током до 20 А.

Дроссели фильтрации серий ДФП и ДФПК выполнены по двухобмоточной схеме (рис. 4). Они предназначены для фильтрации симметричных помех в двухпроводных сетях и несимметричных помех в однопроводных сетях. Для фильтрации несимметричных помех в однопроводных сетях используется включение двух последовательно соединенных обмоток. Дроссели фильтрации серий ДФП и ДФПК могут быть использованы в импульсных источниках питания в качестве выходных дросселей.

Сердечники дросселей выбраны с распределенным зазором и выполнены из аморфного материала на основе железа. Они допускают подмагничивание, при протекании токов по обмоткам сердечник не насыщается. Для получения высокой индуктивности обмотка сделана многослойной.

Дроссели в однопроводную бортовую сеть устанавливаются по схеме, приведенной на рис. 5. Значение емкости конденсатора  $C_{\text{ВХ}}$  выбирается из таблицы 2.

Дроссели фильтрации имеют следующие основные технические характеристики:

- Номинальное напряжение — 5, 12, 27, 60, 110, 230 В.
- Номинальный проходной ток:
  - ДФ, ДФК — 0,1–20 А;
  - ДФП, ДФПК — 0,2–20 А.
- Индуктивность:
  - ДФ, ДФК — 0,12–11 мГн;
  - ДФП, ДФПК — 0,005–14,2 мГн.
- Внутреннее падение напряжения от номинального значения для ДФ и ДФК — 1%.
- Температурный диапазон рабочей среды — -60...+105 °С.
- Габаритные размеры без учета длины выводов в зависимости от проходного тока и типоразмера:
  - ДФ, ДФП (Д×В) — от 13×7 до 26×12 мм;
  - ДФК, ДФПК (Д×Ш×В) — от 14,5×14,5×7,5 до 26×26×12 мм.

Таблица 2. Рекомендуемые значения конденсаторов

Конденсатор	Входное напряжение, В					Выходная мощность модуля (P <sub>ВЫХ</sub> ), Вт
	12	27	60	110	230	
C <sub>вх</sub> , C <sub>вых</sub>	0,47–1,5 мкФ					P <sub>ВЫХ</sub> ≤ 7,5
	1–3 мкФ					7,5 < P <sub>ВЫХ</sub> ≤ 30
	2,2–6,8 мкФ					30 < P <sub>ВЫХ</sub> ≤ 120
	12–14 мкФ					120 < P <sub>ВЫХ</sub> ≤ 480
C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub>	3,3–15 нФ					Для модулей любой мощности

Таблица 3. Токи и индуктивности типовых дросселей

Тип дросселя	Ток, А	Индуктивность, мГн (режим измерения 1 В, 1 кГц)										
		Серия ДФ и ДФК					Серия ДФП и ДФПК					
		7,5	15	30	60	120	240	480	7,5	15	30	60
2-обмоточные	0,2	2,7 (P)*						2,86				
	0,3	3,6 (Д)		11 (М)								
	0,4	1,6 (P)	4,1 (P)					0,7	4,3	7,66	14,25	
	0,6	2,3 (B)	4,6 (Д)	8,9 (H)	8,9 (M)							
	0,8	1 (P)	2,4 (P)	3,6 (P)				0,26	0,9	1,68	4,2	
	1	1,3 (A)										
	1,1					6,8 (M)						
	1,2		2,7 (B)	4,1 (Д)	4,6 (H)							
	1,5	0,79 (P)	1,4 (P)	1,7 (P)	2,4 (P)			0,075	0,3	0,55	1,2	
	2		1,7 (A)									
	2,1					4,1 (H)	4,1 (M)					
	2,5			2,4 (B)	2,7 (Д)							
	3		0,9 (P)	1,1 (P)	1,4 (P)	1,4 (P)		0,019	0,075	0,13	0,3	
	4			1,4 (A)				0,011	0,04	0,065	0,17	
	4,1											
	4,2						1,4 (H)	1,4 (M)				
	5				1,7 (B)	1,7 (Д)						
	6			0,35 (P)	0,5 (P)	0,5 (P)					0,03	0,075
	7,5							0,9 (H)				
	8				1,1 (A)							
10				0,35 (P)	0,5 (B)	0,35 (Д)						
12					0,22 (P)						0,019	
16					0,22 (A)						0,008	
20					0,12 (P)	0,22 (B)					0,005	
3-обмоточные	0,1	1,9 (P)										
	0,2	1,3 (P)	2,4 (P)									
	0,4	0,79 (P)	1,7 (P)	2,4 (P)								
	0,8	0,4 (P)	0,9 (P)	1,4 (P)								
	1,5		0,5 (P)	0,9 (P)								
3			0,5 (P)									

**Примечание.** \* В скобках указаны номинальные напряжения для ДФ, ДФК (А — 12 В, В — 27 В, Д — 60 В, Н — 110 В, М — 230 В, Р — 5 В), при которых нормируется падение напряжения (1%).

- Масса в зависимости от проходного тока и типоразмера:

- ДФ, ДФП — 4–16 г;
- ДФК, ДФПК — 30–50 г.

Предприятие «АЭИЭП» выпускает 170 типоразмеров дросселей на номинальные напряжения 5, 12, 27, 60, 110, 230 В и проходные токи 0,1–20 А. Значения тока и индуктивности типовых дросселей приведены в таблице 3.

Основной продукцией предприятия «Александр Электрик источники электропитания» являются модули питания, из которых наиболее востребованы DC/DC-модули питания серии МДМ. Условное обозначение дросселей позволяет без затруднений подобрать оптимальные входные и выходные дроссели для каждого модуля МДМ. Пример выбора входных и выходных дросселей для модулей МДМ дан в таблице 4.

Судя по данным таблицы, обозначение дросселей, кроме принадлежности к типу (7,5, 15, 30 и т. д.), которое совпадает с мощностью модуля питания, содержит также информацию об электрической схеме (двух- или трехобмоточная), номинальном напряжении для ДФ и ДФК (А — 12 В, В — 27 В, Д — 60 В, Н — 110 В, М — 230 В, Р — 5 В), при котором нормируется падение напряжения (1%), и номинальном проходном токе. Для модулей питания других серий, а также источников питания других производителей дроссели выбирают в соответствии с табли-

цей 3 по параметрам L (мкГн) и I (А) с учетом допустимого падения напряжения.

Выбор дросселя для конкретного фильтра — многовариантная задача. Так, например, при номинальном проходном токе внутреннее падение напряжения на дросселе ДФ и ДФК составляет 1% от номинального напряжения. При таком малом падении теплоотделение незначительно, и перегрев дроссе-

Таблица 4. Пример выбора дросселей фильтрации для установки с модулями МДМ

Тип модуля	Тип дросселя фильтрации	
	входного	выходного
МДМ7,5-1В03М	ДФ (ДФК) 7,5-2В/0,6; ДФП (ДФПК) 7,5-2/0,8	ДФ (ДФК) 7,5-2Р/1,5; ДФП (ДФПК) 7,5-2/1,5
МДМ7,5-2Д1515М	ДФ (ДФК) 7,5-2Д/0,3; ДФП (ДФПК) 7,5-2/0,4	ДФ (ДФК) 7,5-3Р/0,8; ДФП (ДФПК) 7,5-2/0,2
МДМ15-1А05М	ДФ (ДФК) 15-2А/2,0; ДФП (ДФПК) 15-2/3,0	ДФ (ДФК) 15-2Р/3,0; ДФП (ДФПК) 15-2/3,0
МДМ30-2В1515М	ДФ (ДФК) 30-2В/2,5; ДФП (ДФПК) 30-2/3,0	ДФ (ДФК) 30-3Р/1,5; ДФП (ДФПК) 30-2/0,8
МДМ30-1М05М	ДФ (ДФК) 30-2М/0,3; ДФП (ДФПК) 30-2/0,4	ДФ (ДФК) 30-2Р/6,0; ДФП (ДФПК) 30-2/6,0
МДМ60-1М15М	ДФ (ДФК) 60-2М/0,6; ДФП (ДФПК) 60-2/0,8	ДФ (ДФК) 60-2Р/6,0; ДФП (ДФПК) 60-2/6,0
МДМ120-1В05М	ДФ (ДФК) 120-2В/10,0; ДФП (ДФПК) 60-2/12,0	ДФ (ДФК) 120-2Р/20,0; ДФП (ДФПК) 60-2/20,0
МДМ240-1М24МП	ДФ (ДФК) 240-2М/2,1; ДФП (ДФПК) 60-2/3,0	ДФ (ДФК) 120-2Р/12,0; ДФП (ДФПК) 60-2/12,0
МДМ480-1М48МП	ДФ (ДФК) 480-2М/4,2; ДФП (ДФПК) 60-2/4,0	ДФ (ДФК) 120-2Р/12,0; ДФП (ДФПК) 60-2/12,0

ля не превышает +10 °С. Поэтому всегда есть возможность использовать дроссели при большем токе, когда падение напряжения составляет 2–3% и более.

Дроссель на предельный рабочий ток также можно выбрать с помощью графиков. На рис. 6 в качестве примера представлены графики допустимого тока через дроссель в зависимости от падения напряжения. Выберите среди графиков точку, соответствующую требуемым значениям рабочего тока и действующему падению напряжения на дросселе (в % от номинального значения). Точка А на рис. 6 показана для дросселя с рабочим током 2,5 А и падением напряжения 2,5%. Любой дроссель, соответствующий графику, находящемуся справа от выбранной точки А, обеспечит необходимый рабочий ток. Дроссель ДФ30-2В, ближайший к точке А, будет иметь минимальные габариты и массу.

Эффективность дросселей ДФ и ДФП в составе фильтров радиопомех была проверена совместно с модулем питания МДМ15. На рис. 7 приведены графики напряжения

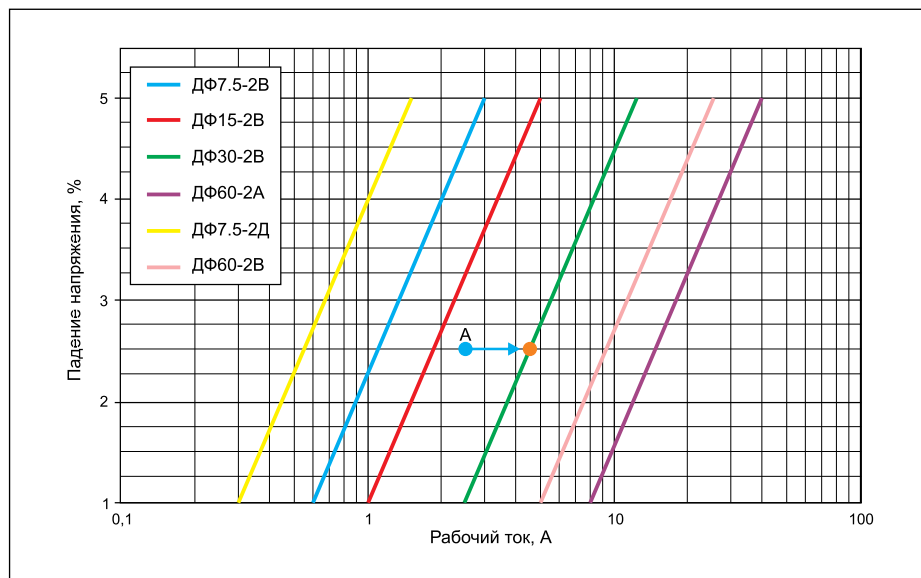


Рис. 6. Выбор дросселя для значения падения напряжения на нем более 1%

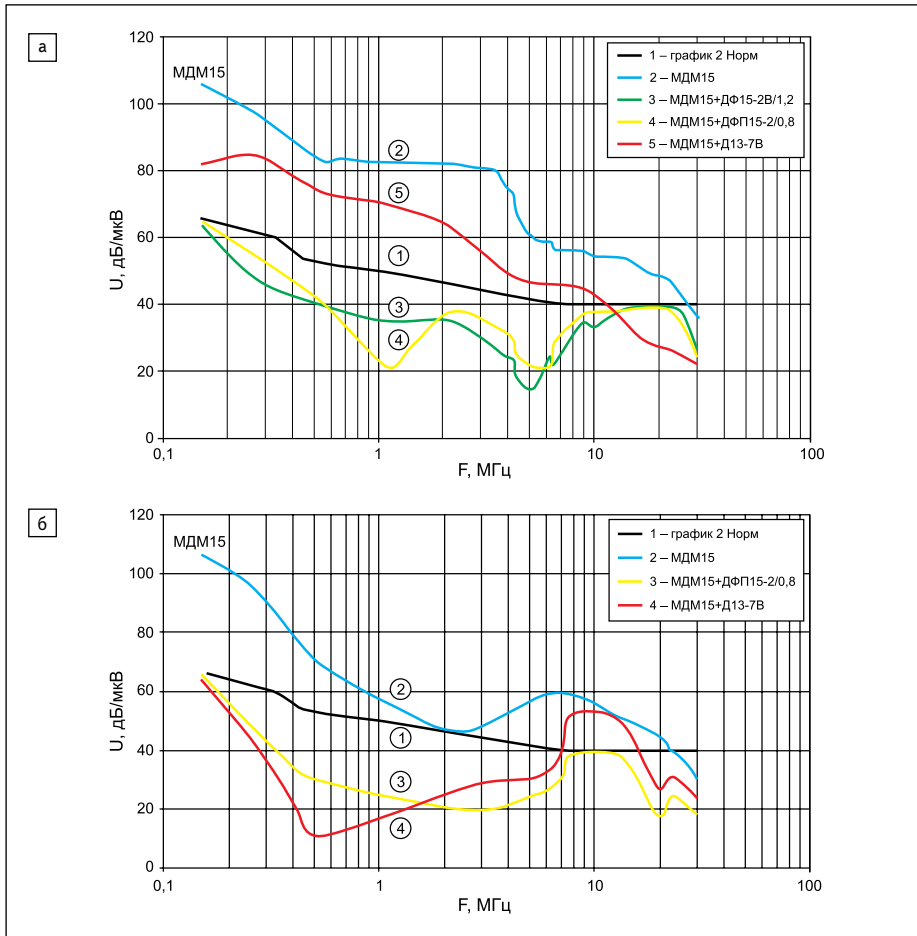


Рис. 7. Напряжение радиопомех на входе модуля питания: а) в двухпроводной сети; б) в однопроводной сети

радиопомех на входе модуля МДМ15 (кривая 2) в двух- и однопроводной сетях (схемы включения на рис. 3 и 5 соответственно). Там же показаны нормированные значения напряжения радиопомех (график 2 Норм) по ГОСТ 30426-96. Анализ кривых 1 и 2 показывает, что уровни радиопомех превышают норму. После установки на входе модулей питания фильтров на основе дросселей ДФ и ДФП уровень радиопомех снижается до значений графика 2 Норм.

Дроссели ДФ и ДФП сравнивали с дросселями Д13 по эффективности подавления помех в составе LC-фильтров. Для сравнения были выбраны дроссели, рассчитанные на одинаковый рабочий ток и имеющие близкие размеры. При снятии частотных характеристик дроссели устанавливали на одну и ту же плату LC-фильтра по схеме в соответствии с рис. 3, 5 (в двухпроводной сети обмотки дросселя Д13 включались согласно). Зависимости приведены на рис. 7.

Испытания подтвердили высокую эффективность дросселей ДФ и ДФП, особенно для двухпроводных сетей.

В заключение отметим, что дроссели разработаны для эксплуатации в особо жестких условиях и предназначены для применения в системах электропитания аппаратуры, разработанной в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.301 — ГОСТ РВ 20.39.309. Эти изделия включены в перечень МОП 44001.12-2012. ■

**Литература**

1. Каталог выпускаемой продукции ООО «АЭИЭП». Москва. Осень 2012 г.