

Выбор и расчет фильтров радиопомех на основе унифицированных дросселей предприятия АЭИЭП

В последние годы блоки питания (БП) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), как правило, строятся на основе высокочастотных импульсных модулей. БП на модулях имеют высокий КПД, малые габариты и массу, но, в то же время, являются источником радиопомех, уровень которых превышает допустимые значения норм. Чтобы уменьшить помехи, на входе и выходе БП размещают серийные фильтры радиопомех [1, 2], или предприятия — разработчики РЭА сами изготавливают фильтры необходимой конструкции. Для таких фильтров предприятие «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» (АЭИЭП) выпускает унифицированные дроссели 170 типонаименований, которые могут работать в широком диапазоне тока и напряжения [5]. В статье показывается, как выбрать фильтр радиопомех (ФРП) на таких дросселях, а также даны рекомендации по типонаименованиям конденсаторов.

Игорь ТВЕРДОВ

Помехи во входных и выходных цепях модулей питания создаются в основном силовыми ключами и диодами. Периодическая последовательность импульсов, вырабатываемая ключом, может быть представлена в виде суммы бесконечного ряда синусоидальных колебаний, кратных частоте следования импульсов. Высокочастотные составляющие этого ряда, имеющие достаточную энергию, будут определять радиопомехи по входным и выходным цепям модуля. Эквивалентная схема модуля как источника радиопомех (рис. 1) включает генератор с ЭДС — E , внутреннее сопротивление Z_i и сопротивление Z_n , подключенное к его зажимам сети и играющее роль нагрузки. Чтобы уменьшить напряжение радиопомех на нагрузке, необходимо или увеличивать сопротивление Z_i , или уменьшить сопротивление Z_n . Наиболее часто используют и то и другое.

Помехи, созданные источником, попадают непосредственно в отходящие от него провода, а через распределенную емкость — в соседние провода и распространяются по ним на значительные расстояния, мешая приему радиосигналов. Поэтому основная задача подавления заключается в противодействии распространению радиопомех по проводам.

Имеются два пути распространения помех: симметричный и несимметричный (рис. 2).

Так как ток симметричной помехи I_{nc} циркулирует только по проводам, устранить помеху от него значительно проще (достаточно конденсатора между проводами), чем от токов несимметричной помехи I_{pn1} и I_{pn2} , распространяющихся одновременно по обоим проводам, а затем и по земле. Такие пути трудно поддаются учету, к тому же на антенны радиоприемников воздействуют электромагнитные помехи, образующиеся между помехонесущими проводами и землей, то есть за счет

распространения несимметричных токов радиопомех. По этой причине нормирование радиопомех осуществляется по несимметричному пути, и необходимо в первую очередь подавлять несимметричные помехи.

На практике это осуществляется включением фильтров в провода, отходящие от источников помех. ФРП обычно выполняются по индуктивно-емкостным Г-образным схемам. Для выбора и расчета ФРП необходимо знать уровень помех, создаваемый модулем, генератором помех, допустимый уровень помех в линии, а также внутреннее сопротивление модуля Z_i и сети Z_n (рис. 1). Первый параметр измерить просто, второй регламентируется нормами, а два последних могут быть измерены, что затруднительно, или рассчитаны, что практически невозможно.

Можно исключить определение сопротивлений Z_i и Z_n , если провести измерения и установить, что сопротивление генератора

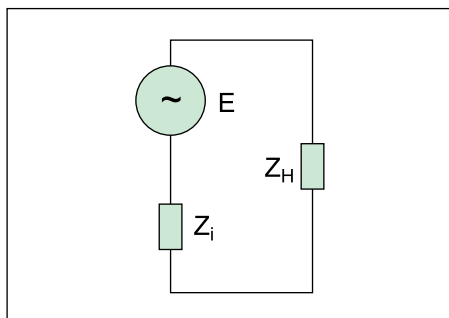


Рис. 1. Эквивалентная схема источника радиопомех

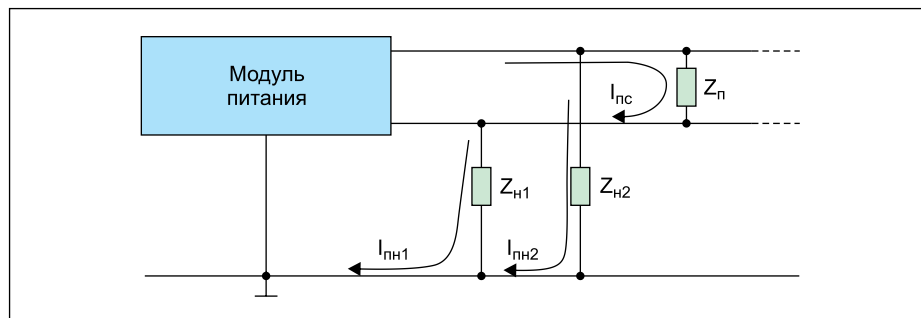


Рис. 2. Пути распространения помех по проводам: I_{nc} — ток помехи симметричной, I_{pn} — ток помехи несимметричной

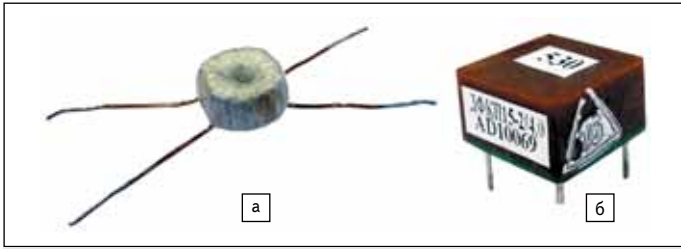


Рис. 3. Дроссели фильтрации: а) в бескорпусном исполнении; б) в корпусном исполнении

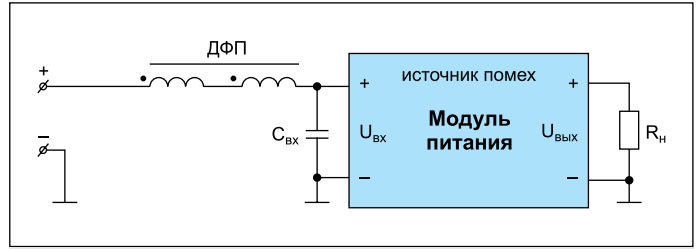


Рис. 5. Схема установки дросселя ДФП(К) в однопроводную бортсеть

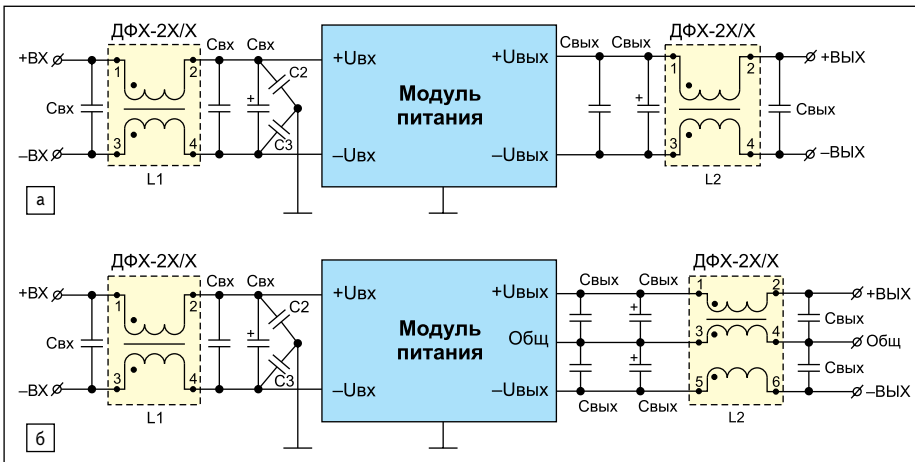


Рис. 4. Схема включения дросселей ДФ и ДФК в составе LC-фильтров в двухпроводную сеть совместно: а) с одноканальным модулем питания; б) с двухканальным модулем питания с общей точкой

помех (модуля) высокоомное. Для этого необходимо измерить напряжение радиопомех во входных и выходных цепях в диапазоне частот 0,15–30 МГц. Затем, подключив на входе и выходе модуля конденсаторы (например, К10-47), обладающие минимальным значением полного сопротивления в диапазоне частот 0,15–0,5 МГц, где уровни помех особенно велики, измерить величину напряжения радиопомех в проводах входных и выходных цепей на частоте 0,15 МГц. Включение конденсаторов проводится по несимметричной схеме между каждым помехонесущим проводом и корпусом модуля.

Испытания показали, что при таком измерении напряжения радиопомех во входных и выходных цепях заметно снижаются, следовательно, модуль имеет высокое внутреннее сопротивление, и со стороны модуля фильтр должен начинаться с емкости.

Так как сопротивление Z_i велико, а сопротивление Z_n для большинства питающих сетей мало, то в широко известной формуле для коэффициента фильтрации Г-образного фильтра:

$$K_\phi = \frac{Z_n}{Z_i + Z_n} \times \frac{Z_i}{Z_n} \times \frac{Z_L}{Z_C},$$

где значения Z_n и Z_i сокращаются, коэффициент K_ϕ определяется сопротивлением индуктивности Z_L и емкости Z_C фильтра.

С учетом изложенного разработаны схемы входных и выходных фильтров на ос-

нове унифицированных дросселей серий ДФ, ДФК, ДФП и ДФПК предприятия АЭИЭП.

Дроссели ДФ и ДФП выполнены в бескорпусном, а ДФК и ДФПК — в корпусном исполнении (рис. 3) по двух- и трехмоточной (только ДФ) электрическим схемам. Они рассчитаны на ток до 20 А и напряжение до 350 В и в составе LC-фильтров подавляют несимметричные помехи в диапазоне частот 0,15–100 МГц.

ДФ(К) предназначены для двухпроводных сетей и по принципу работы представляют собой компенсированные по току нагрузки дроссели.

Дроссели серии ДФП(К) используются в основном для создания фильтров радиопомех в однопроводных бортсетях и за счет сердечников с распределенным зазором допускают подмагничивание проходными токами до 20 А.

Более подробно дроссели рассмотрены в [3, 5, 6]. Отметим только, что дроссели разработаны для эксплуатации в особо жестких условиях, предназначены для применения в системах электропитания аппаратуры, соответствующей ГОСТ РВ 20.39.301 – ГОСТ РВ 20.39.309, и включены в перечень МОР 44001.12-2012.

Дроссели ДФ(К) устанавливаются согласно схемам, приведенным на рис. 4.

Во входном фильтре подавление помех, распространяющихся по несимметричному пути, осуществляется дросселем L1 и конденсаторами C2 и C3. Симметричная помеха подавляется

входными конденсаторами $C_{вх}$. В выходном фильтре подавление несимметричных помех осуществляется дросселем L2, симметричных — выходными конденсаторами $C_{вых}$.

Выбрать дроссели L1 и L2 для фильтров просто. Для наиболее массовой продукции предприятия — модулей МДМ — обозначение модулей и дросселей практически совпадает. Например, модуль мощностью 7,5 Вт с выходным напряжением 27 В обозначается как МДМ7,5-В, дроссель фильтрации для этого модуля — ДФ7,5-В и т. д. (табл. 1).

Для модулей остальных серий АЭИЭП и модулей других фирм дроссели выбирают по току, напряжению и индуктивности, в соответствии с таблицей 2.

Дроссели ДФП(К) в однопроводную бортсеть устанавливают по схеме, приведенной на рис. 5. Подходящие модели выбирают из таблиц 1 и 2.

Расчет фильтра для выбранного дросселя с индуктивностью L включает в себя следующее:

1. Определяется требуемое ослабление напряжения радиопомех ($K_{тр}$):

$$K_{тр} = U_{п.изм} / U_{п.доп}, \quad (1)$$

где $U_{п.изм}$ — измеренная величина напряжения радиопомех, создаваемая модулем на частоте $f = 0,15$ МГц; $U_{п.доп}$ — допускаемое напряжение радиопомех. Наиболее часто их выбирают в соответствии с графиком 2 норм по ГОСТ 30426-96.

Таблица 1. 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

2. Определяется коэффициент подавления однозвенного Г-образного фильтра (K_{Φ}), который для частоты 0,15 МГц равен:

$$K_{\Phi} = X_L/X_C = \omega^2 L_C \approx L_C \text{ (мкГн} \cdot \text{мкФ)}, \quad (2)$$

где X_L , X_C — реактивное сопротивление дросселя и несимметричного конденсатора C_2 (C_3).

3. Коэффициент K_{Φ} должен быть равен требуемому коэффициенту ослабления напряжения ($K_{\text{тр}}$), то есть $K_{\Phi} = K_{\text{тр}}$ или:

$$L_C = U_{\text{п.изм}}/U_{\text{п.доп}}. \quad (3)$$

4. По формуле (3) и значению индуктивности выбранного дросселя определяем емкость конденсаторов C_2 и C_3 :

$$C_{2(3)} = U_{\text{п.изм}}/U_{\text{п.доп}} \times L. \quad (4)$$

Пример расчета

Исходные данные для расчета:

- Измеренный уровень помех, создаваемых модулем МДМ7,5-В (рис. 6, кривая 1).
- Допустимый уровень помех по нормам (рис. 6, кривая 2).

Расчет:

- Выбираем для модуля МДМ7,5-В — дроссель ДФ7,5-2В/0,6 с индуктивностью 0,58 мГн (значение из таблицы 2 в соответствии с примечанием **).
- По кривой 1 определяем уровень помехи от модуля на частоте 0,15 МГц — $U_{\text{п.изм}} = 94$ дБ, по кривой 2 — $U_{\text{п.доп}} = 62$ дБ. Кривая 2 соответствует уровню помех графика 2 норм, которые распространяются на большую часть оборудования объектов с РЭА.
- Определяем по формуле (1) требуемый коэффициент ослабления фильтра в дБ:

$$K_{\text{тр}} = U_{\text{п.изм}} - U_{\text{п.доп}} = 94 - 62 = 32 \text{ дБ.}$$

Выбираем $K_{\text{тр}}$ с запасом — 40 дБ, или в количестве раз по формуле $K_{\text{тр.раз}} = 20 \lg K_{\text{тр.раз}}$:

$$K_{\text{тр.раз}} = U_{\text{п.изм}}/U_{\text{п.доп}} = 100.$$

3. По формуле (4) определяем при $L = 0,58$ мГн емкость конденсаторов C_2 и C_3 :

$$C = U_{\text{п.изм}}/(U_{\text{п.доп}} \times L \times 10^3) = 100/(0,58 \times 10^{-3}) = 0,168 \text{ мкФ.}$$

4. В качестве несимметричных конденсаторов фильтра используем конденсаторы К10-67В, К10-47В, имеющие минимальную паразитную индуктивность. С целью дополнительного уменьшения этой индуктивности применяется параллельное соединение нескольких конденсаторов.

5. Рекомендуемое значение емкости конденсаторов фильтров симметричной помехи в зависимости от мощности модуля питания приведено в таблице 3 [4].

В качестве симметричных применяем конденсаторы К10-67В и К10-47В, емкость которых набирается за счет параллельного соединения.

Таблица 3. Рекомендуемое значение емкости конденсаторов фильтров симметричной помехи в зависимости от мощности модуля питания

Конденсатор	Входное напряжение, В					Выходная мощность модуля, Вт
	12	27	60	110	230	
$C_{\text{вх}}, C_{\text{вых}}, \text{мкФ}$	0,47–1,5					7,5
	1–3					15; 30
	2,2–6,8					60; 120
	12–14					240; 480

Таблица 2. Ток и индуктивность дросселей

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
0,2	2,7(Р)*							2,86			
0,3	3,6(Д)		11(М)								
0,4	1,6(Р)	4,1(Р)						0,7	4,3	7,66	14,25
0,6	2,3(В)	4,6(Д)	8,9(Н)	8,9(М)							
0,8	1(Р)	2,4(Р)	3,6(Р)					0,26	0,9	1,68	4,2
1	1,3(А)										
1,1					6,8(М)						
1,2		2,7(В)	4,1(Д)	4,6(Н)							
1,5	0,79(Р)	1,4(Р)	1,7(Р)	2,4(Р)				0,075	0,3	0,55	1,2
2		1,7(А)									
2,1					4,1(Н)	4,1(М)					
2,5			2,4(В)	2,7(Д)							
3		0,9(Р)	1,1(Р)	1,4(Р)	1,4(Р)			0,019	0,075	0,13	0,3
4			1,4(А)					0,011	0,04	0,065	0,17
4,1											
4,2						1,4(Н)	1,4(М)				
5				1,7(В)	1,7(Д)						
6			0,35(Р)	0,5(Р)	0,5(Р)					0,03	0,075
7,5							0,9(Н)				
8				1,1(А)							
10				0,35(Р)	0,5(В)	0,35(Д)					
12					0,22(Р)						0,019
16					0,22(А)						0,008
20					0,12(Р)	0,22(В)					0,005
0,1	1,9(Р)										
0,2	1,3(Р)	2,4(Р)									
0,4	0,79(Р)	1,7(Р)	2,4(Р)								
0,8	0,4(Р)	0,9(Р)	1,4(Р)								
1,5		0,5(Р)	0,9(Р)								
3			0,5(Р)								

Примечание. * В скобках указано номинальное напряжение для ДФ, 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%). ** В режиме измерения 1 В 150 кГц индуктивность дросселей ДФ, ДФК в четыре раза меньше; для дросселей ДФП и ДФПК ее значение не меняется.

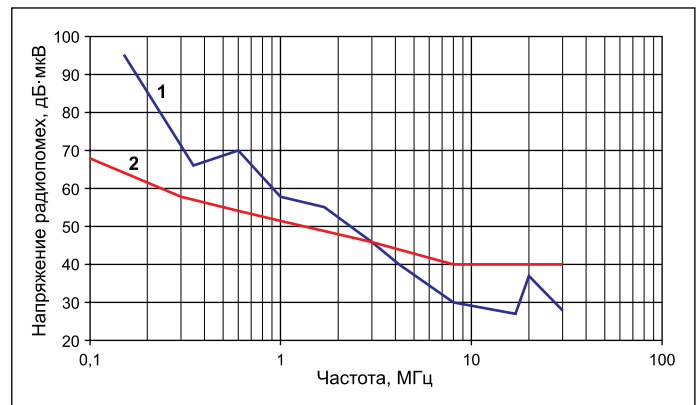


Рис. 6. Допустимый уровень помех

Литература

- Твердов И., Миронов А., Затулов С. Модули фильтрации радиопомех и защиты от перенапряжения // Силовая электроника. 2007. № 4.
- Твердов И., Затулов С. Модули защиты от помех // Электронные компоненты. 2009. № 8.
- Затулов С. Дроссели для однопроводных и двухпроводных фильтров радиопомех в сетях постоянного тока // Компоненты и технологии. 2013. № 4.
- Руководящие технические материалы БКЮС.434732.503 Д1. Модули питания серии МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М, МДМ-МП.
- Технические условия БКЮС. 670109.002-01 ТУ. Унифицированные дроссели фильтрации радиопомех серии ДФ, ДФК, ДФП, ДФПК.
- Руководящие технические материалы по применению унифицированных дросселей фильтрации радиопомех серии ДФ, ДФК, ДФП, ДФПК. БКЮС.300109.001 Д1, 2013.