

# Защита

# ОТ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ

## С ПОМОЩЬЮ ФИЛЬТРОВ EPCOS

Антон Гореев

goreev@promelec.ru

**Т**ермин «электромагнитная совместимость» (ЭМС) объединяет такие известные электромагнитные явления, как радиопомехи, влияние на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные влияния, паразитные связи, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействия заземления и т. д. Однако у этого понятия существует ряд толкований. Например, стандарт VDE 0870 (Общество немецких электротехников) определяет ЭМС как «способность электрического устройства удовлетворительно функционировать в его электромагнитном окружении, не влияя на это окружение, к которому принадлежат также и другие устройства, недопустимым образом»; ГОСТ Р 50397-92 определяет электромагнитную совместимость как «способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам».

Основные понятия электромагнитной совместимости рассматривают воздействие как излучаемых, так и кондуктивных помех (наводки), распространяющихся по проводникам (например, наводки по цепям питания), а также чувствительность электрооборудования к воздействию помех (помехоустойчивость).

Наиболее характерными примерами проявлений проблемы ЭМС могут быть такие явления, как:

- отказы систем контроля и управления АЭС;
- отказы систем контроля и управления на производстве, в том числе и химическом;
- отказы бортовых систем самолетов и аэродромных систем наведения;
- сбои медицинской аппаратуры диагностики и жизнеобеспечения;
- непосредственное влияние на здоровье человека электромагнитных излучений от различного рода радиоэлектронного оборудования, особенно высокочастотного (сотовых телефонов, компьютеров, радиостанций, СВЧ-печей, ВЧ-установок, линий высоковольтной передачи и т. д.).

В данной статье, прежде всего, будут рассмотрены кондуктивные помехи.

Кондуктивная помеха — помеха, распространяющаяся в проводящей среде (по проводам, проводя-

щим поверхностям, то есть помеха, передаваемая контактным способом). Высокочастотные кондуктивные помехи могут быть по характеру процесса отнесены либо к непрерывным колебаниям, либо к аperiodическим и колебательным переходным процессам.

В зависимости от происхождения и характера распространения кондуктивные помехи разделяют на следующие виды:

- симметричные;
- несимметричные.

Симметричная помеха возникает, когда напряжение помехи приложено между фазным (линейным) и нейтральным проводами. Другими словами, это помеха, распространяющаяся аналогично протеканию переменного тока в сети. В цепях постоянного тока напряжение симметричной помехи приложено между положительным и отрицательным проводами.

Несимметричная помеха — это помеха, действующая между проводниками и корпусом или шиной заземления через паразитный импеданс (паразитной емкости) между данными объектами. В цепях постоянного тока напряжение несимметричной помехи приложено между проводниками (положительным, отрицательным) и корпусом.

Действие таких промышленных электромагнитных помех распределяется практически на весь используемый радиоспектр от 0,011 до 1000 МГц, что в работе наземного, бортового и подвижного электрооборудования вызывает различные нарушения, которые могут привести к выходу их из строя, сбоям, авариям и даже катастрофическим последствиям.

Над проблемой ЭМС долгое время не задумывались, пока не были зарегистрированы массовые сбои в банковских системах при воздействии помех. Это и привело к появлению директивы 336ЕС 89, которая обязала страны Европейского сообщества ввести единые стандарты по электромагнитной совместимости и разработать систему сертификации. В результате с 1996 года в Европе не допускается продажа технических средств без сертификата соответствия стандартам по электромагнитной совместимости.

В России до начала 2001 года обязательной сертификации по ЭМС подлежало электротехническое

**Таблица 1.** Нормы напряжения ИРП на сетевых зажимах ОИТ согласно ГОСТ Р 51527-99

Частота	Напряжение радиопомех, дБ (мкВ)			
	A	B	C	D
10 кГц	80	-	92	-
20 кГц	74	-	86	-
50 кГц	66	-	78	-
150 кГц	58	66	70	79
150-500 кГц	54	66-56	66	79
0,5-5 МГц	48	56	60	73
5-30 МГц	48	60	60	73

**Примечания.** 1. На граничной частоте нормой является меньшее значение. 2. Нормы не применяются к устройствам, в конструкции которых отсутствуют помехоподавляющие фильтры. Отсутствие встроенных помехоподавляющих фильтров должно быть указано в технической документации на устройство

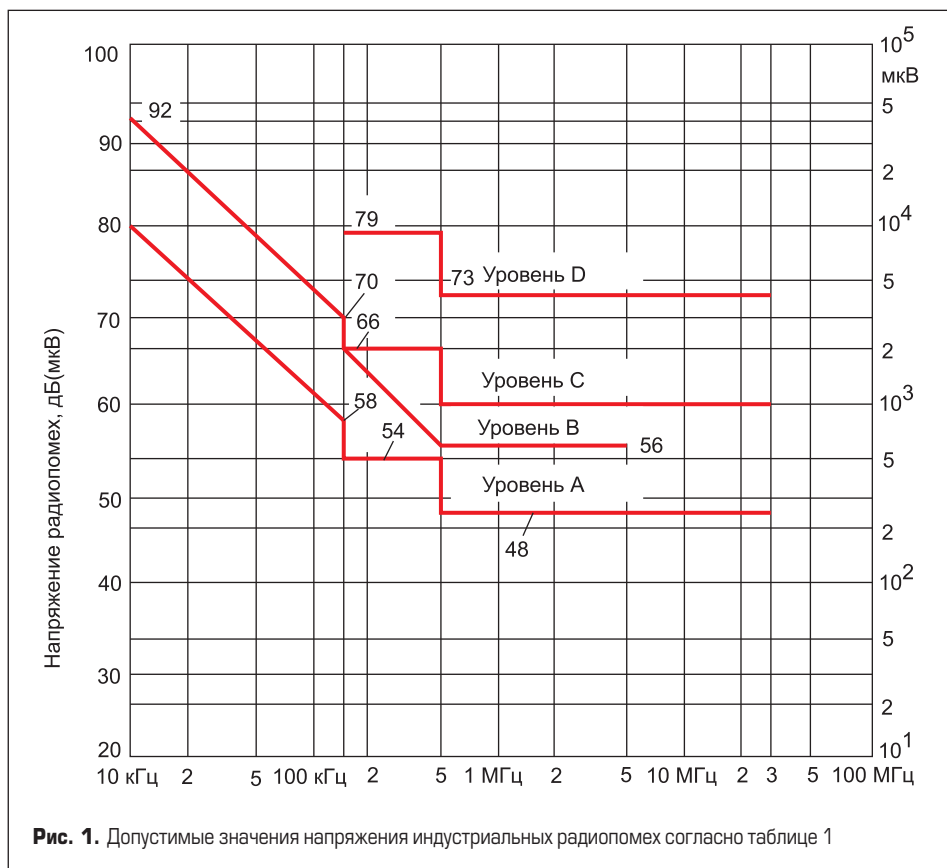
и электронное оборудование, включенное в соответствующий реестр. Теперь Россия приблизилась к Европе и ввела свою систему стандартов и сертификации. С появлением новых стандартов практически вся электротехническая продукция подпадает под обязательную сертификацию по ЭМС. Базовые стандарты на устойчивость к помехам соответствуют МЭК 1000-4. Стандарты на допустимые уровни создания помех основаны на стандартах СИСПР.

Рассмотрим электромагнитную совместимость полупроводниковых преобразователей электрической энергии (транзисторов), которые входят в состав блока питания разрабатываемого устройства и вносят основной вклад в составляющую помехи, излучаемой прибором.

Взаимное влияние и связь силовой и информационной частей полупроводникового преобразователя электрической энергии требует особого внимания к вопросам их электромагнитной совместимости и защиты от помех, вызываемых всплесками и скачками напряжений и токов при коммутациях силовых ключей.

Частотный спектр и уровень энергии, выделившейся при коммутации силовых ключей, в мощном преобразователе весьма велики, и генерируемые помехи могут как распространяться по соединительным проводам, так и излучаться в пространство. При этом пути распространения помех и наводок трудно выявить. Они могут включать, например, сетевые трансформаторы питания электрических подстанций, трансформаторы питания системы управления преобразователя, импульсные трансформаторы цепей управления ключами, трансформаторы и резисторы цепей обратной связи, паразитные емкости монтажа между цепями, относящимися к различным частям преобразователя, и т. д. [1].

Существует множество ГОСТов по электромагнитной совместимости, но для источника питания с характеристиками источника тока идеально подходит ГОСТ Р 51527-99. «Совместимость технических средств электромагнитная. Стабилизированные источники питания постоянного тока. Кондуктивные электромагнитные помехи» [2].



**Рис. 1.** Допустимые значения напряжения промышленных радиопомех согласно таблице 1

Существует классификация оборудования информационных технологий (ОИТ), подразделяющаяся на две категории: ОИТ класса А и ОИТ класса Б.

ОИТ класса А относится к промышленным устройствам, которые в свою очередь применяются на заводах и в промышленных районах. ОИТ класса Б предназначено в основном для применения в бытовой обстановке и включает:

- оборудование без фиксированного места использования, например переносное оборудование с питанием от встроенных батарей;
- оконечное оборудование связи, питаемое от сети связи;
- персональные компьютеры и вспомогательное оборудование, подключаемое к ним.

Из классификации ОИТ видно, что разрабатываемые источники питания относятся к ОИТ класса А (табл. 1). При этом характеристики измерителя радиопомех должны удовлетворять нормам, приведенным в таблице 2.

Рассмотрим анализ, проведенный на специализированном источнике тока для коагуляции водных растворов (И. И. Насыров) [3]. Измерения напряжений радиопомех в вход-

ных зажимах выполнены с нагрузкой, применяемой в условиях эксплуатации устройства, а именно 100 и 250 Вт.

При измерении кондуктивных ЭМП на сетевых зажимах использован эквивалент сети электропитания, обеспечивающий определенное значение полного сопротивления на высоких частотах в точке измерений на вилке сетевого шнура, а также развязку испытуемого оборудования от радиопомех в сети питания.

Испытуемое оборудование подсоединяли к эквиваленту сети и размещали таким образом, чтобы расстояние между внешней поверхностью оборудования и эквивалентом сети составляло 0,8 м.

Если испытуемое оборудование имеет штатный гибкий сетевой шнур длиной более 1 м, то часть его избыточной длины укладывают в связку, длина которой не должна превышать 0,4 м.

Кондуктивные ЭМП измеряли между зажимом фазного провода и эталонным заземлением измерительной схемы (зажимом «земля» эквивалента сети). Измерение напряжений радиопомех осуществлялось селективным микровольтметром SMV 11,

**Таблица 2.** Характеристики измерителя радиопомех с квазипиковым детектором в соответствии с ГОСТ Р 51527-99

Характеристики	Полоса частот	
	10-150 кГц (QP I)	0,15-30 МГц (QP II)
Ширина полосы пропускания на уровне 6 дБ, кГц	0,2	9
Постоянная времени заряда детектора, мс	45	1
Постоянная времени разряда детектора, мс	500	160
Баллистическая постоянная времени индикаторного прибора, мс	160	160

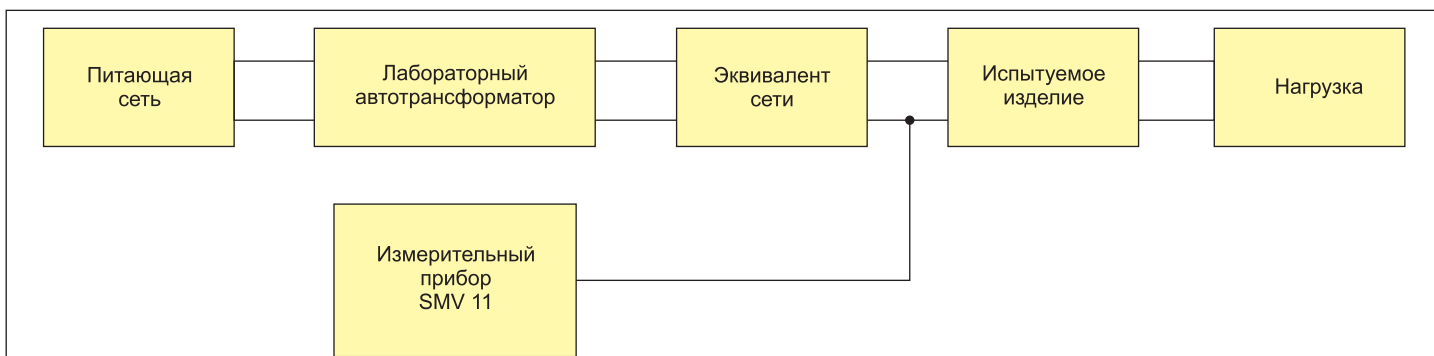


Рис. 2. Структурная схема измерений напряжения кондуктивной помехи прибором SMV11

который представляет собой измерительный приемник для диапазона частот от 9 кГц до 30 МГц и предназначен для селективного измерения синусоидальных высокочастотных напряжений, для квазипикового и пикового измерения импульсных напряжений помех. Без дополнительных принадлежностей селективный микровольтметр типа SMV 11 приспособлен для обычного селективного измерения напряжений в пределах от -20 до +125 дБ (мкВ). Его высокая динамическая избирательность и крутые фронты фильтров промежуточной частоты обеспечивают измерение небольших напряжений даже вблизи сильных посторонних сигналов.

На рис. 2 представлена структурная схема измерения значений напряжения промышленных радиопомех прибором SMV 11.

Измерение помех проводилось на всем частотном диапазоне 0,011–0,15 МГц на QP I и от 0,15 до 30 МГц на QP II. Напряжение помехи рассчитывается по следующей формуле:

$$U = U_p + U_{пр} + 20 \text{ дБ},$$

где  $U_p$  — уровень затухания напряжения радиопомех, вводимого переключателем предела измерений (6) и отображающегося на индикаторе предела измерений (5);  $U_{пр}$  — показания индикаторного прибора (8); 20 дБ — затухание, вносимое эквивалентом сети.

Проделан ряд экспериментов, который полностью отражает влияние кондуктивных электромагнитных помех разрабатываемого прибора на питающую сеть. Все эксперименты были проведены в соответствии с ГОСТом.

Был выполнен эксперимент, демонстрирующий влияние потребляемой мощности на кондуктивную помеху, излучаемую прибором. Для этого с помощью лабораторного автотрансформатора выставлялось выходное напряжение на эквиваленте сети в 220 В, к которому подключался испытуемый источник питания. Далее с помощью селективного микровольтметра SMV 11 проводились измерения кондуктивной помехи, излучаемой прибором в сеть переменного тока на фазном проводе при различных нагрузках (100 и 250 Вт). Диаграммы экспериментов представлены на рис. 3–6.

При анализе данного эксперимента отчетливо видно, что практически на всем диапазоне частот уровень помехи, излучаемой прибором, значительно превышает допустимый предел, установленный ГОСТом. Изменение

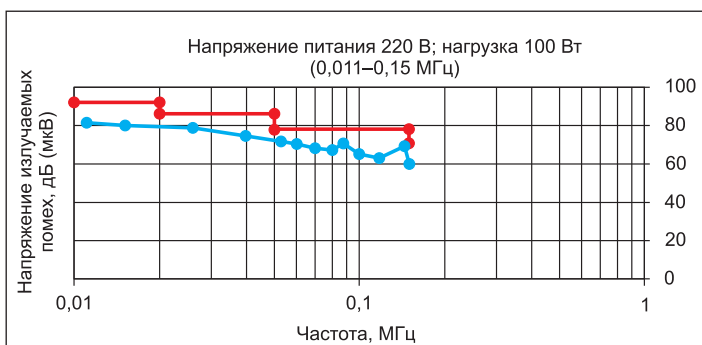


Рис. 3. Зависимость напряжения излучаемых помех от частоты при напряжении питающей сети 220 В и нагрузке 100 Вт в диапазоне частот 0,011–0,15 МГц

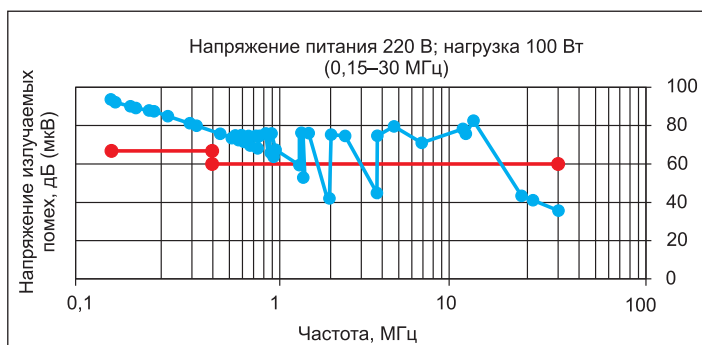


Рис. 4. Зависимость напряжения излучаемых помех от частоты при напряжении питающей сети 220 В и нагрузке 100 Вт в диапазоне частот 0,15–30 МГц



Рис. 5. Зависимость напряжения излучаемых помех от частоты при напряжении питающей сети 220 В и нагрузке 250 Вт в диапазоне частот 0,011–0,15 МГц

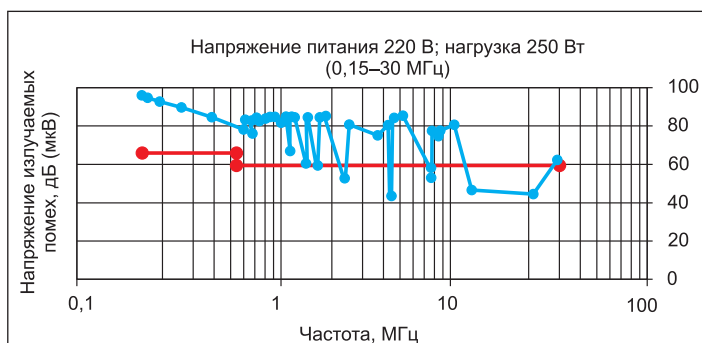
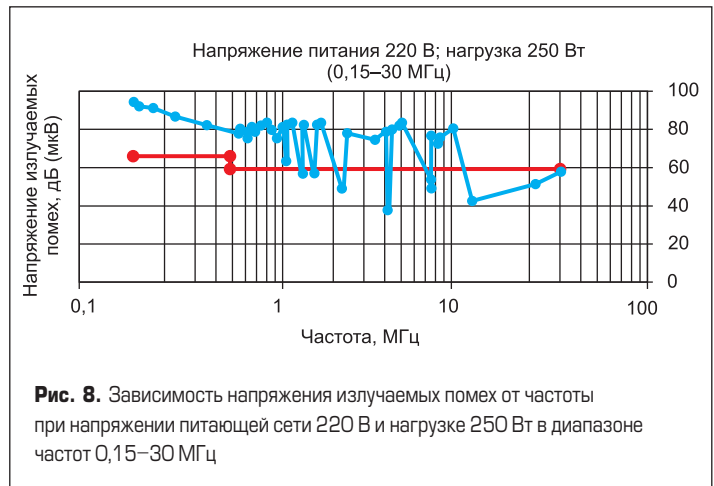
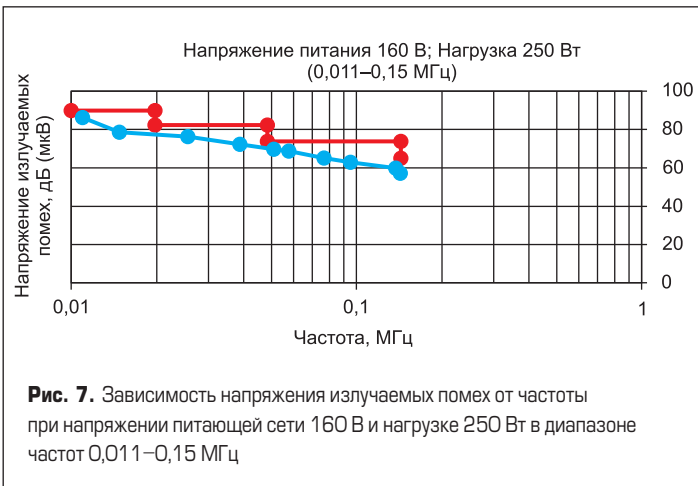


Рис. 6. Зависимость напряжения излучаемых помех от частоты при напряжении питающей сети 220 В и нагрузке 250 Вт в диапазоне частот 0,15–30 МГц



нагрузки практически не повлияло на уровень излучаемой помехи.

Далее был проведен эксперимент, отражающий влияние изменения напряжения питающей сети на уровень излучаемых в сеть помех. Для этого подключим к испытываемому источнику питания нагрузку в 250 Вт и проведем измерения кондуктивной помехи, излучаемой прибором в сеть переменного тока при различных уровнях напряжений питающей сети (160 и 220 В). Диаграммы экспериментов представлены на рис. 7, 8.

Анализируя эксперименты, представленные на рис. 5, 6 и 7, 8, приходим к выводу, что уровень излучаемых прибором помех напрямую зависит от напряжения питающей сети. Таким образом, можно сделать вывод о том, что на уровень помехи, излучаемой прибором в сеть, влияет напряжение питающей сети, а не ток, потребляемый устройством.

Вышеприведенные графики свидетельствуют о помехах, превышающих допустимые значения, и становится очевидно, что данный прибор может не пройти ряд приемосдаточных испытаний, установленных по ГОСТу.

Для обеспечения требуемого по ГОСТ Р 51527-99 уровня кондуктивных помех в диапазоне частот от 0,15 до 30 МГц нужно принять меры, а именно внедрить помехозащитный фильтр в схему.

Убедившись на простом примере, что фильтр необходим, проанализируем ряд компонентов, которые предлагает нам компания EPCOS, — B84773A (стандартное исполнение)

и B84773M (медицинское исполнение). К сожалению, оценить устройство с фильтром EPCOS на предыдущем примере не представляется возможным.

Оба варианта схемной конфигурации стандартного и медицинского фильтров представлены на рис. 9. В таблице 3 указаны параметры используемых компонентов в фильтре.

Оптимальный выбор параметров компонентов C1, L, C2, C3, R обеспечивает достаточную степень подавления ВЧ-помех порядка 20–80 дБ в частотном диапазоне 0,15–30 МГц. Конденсатор C1, включенный между фазным проводом и нейтралью, фильтрует симметричные помехи, в то время как конденсаторы C2 и C3 фильтруют помехи несимметричного вида. Исследования показали, что до сотен килогерц преоблада-

ют симметричные помехи, а несимметричные — выше 1 МГц [4]. Дроссель L, выполненный на феррите, имеет две аналогичные обмотки. Обмотки включены согласно, представляя, таким образом, высокое индуктивное сопротивление для несимметричных помех, а для симметричных помех — сопротивление низкое.

Используя расчет, приведенный в [5], оценим значение тока заземления  $I_3$  для стандартного фильтра, а именно для номенклатуры B84773A:

$$I_3 = C2(C3) \times 4\pi \times f_c \times U_{\text{сmax}} = 2200 \times 10^{-12} \times 4 \times 3,14 \times 50 \times 364 = 0,364 \text{ mA.}$$

Таким образом, значение тока заземления не превышает 0,5–2 мА и безопасно для человека. Ориентируясь на частоту 1 МГц,

Таблица 3. Параметры компонентов, используемых в сетевых фильтрах B84773\* EPCOS

I <sub>R</sub> , А	C <sub>R</sub> X2, мкФ	C <sub>R</sub> Y2, пФ	L <sub>R</sub> , мГн	I <sub>ЛК</sub> , мА	R <sub>разр</sub> /МОм	Вес, г	Код номенклатуры	Соответствие стандартам		
								IEC 60939	UL 1283	CSA C22.2 No.8
VR = 250 В AC/DC										
1		2×2200	2×5,4	0,173		55	B84773A0001A000	+	+	+
1		–	2×5,4	0			B84773M0001A000			
2		2×2200	2×2,7	0,173			B84773A0002A000			
2		–	2×2,7	0			B84773M0002A000			
4	1×0,1	2×2200	2×1,1	0,173	1		B84773A0004A000			
4		–	2×1,1	0			B84773M0004A000			
6		2×2200	2×0,3	0,173			B84773A0006A000			
6		–	2×0,3	0			B84773M0006A000			
10		2×2200	2×0,2	0,173		75	B84773A0010A000			
10		–	2×0,2	0			B84773M0010A000			

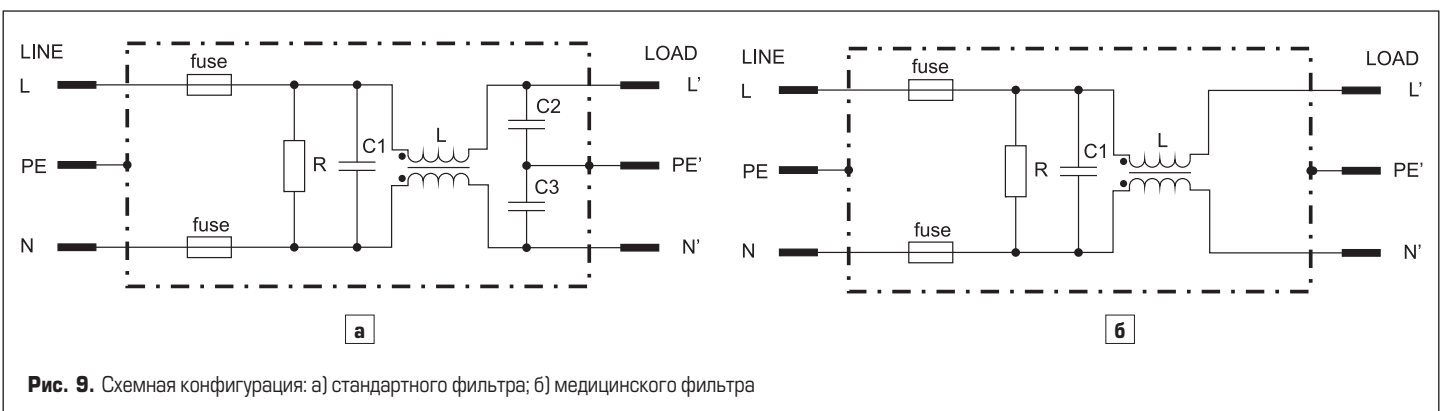


Рис. 9. Схемная конфигурация: а) стандартного фильтра; б) медицинского фильтра



Рис. 10. График коэффициента зависимости от частоты для фильтра B84773A0002A000

можно рассчитать минимальное значение индуктивности дросселя L на основании коэффициента подавления синфазных помех  $K_{\text{ппп}}$ , взятого из графика для конкретного фильтра B84773A0002A000 на ток 2 А (рис. 10), пересчитав его по формуле  $A = 20 \lg K_{\text{ппп}}$  из дБ.

По нижеприведенной формуле определим L и сравним это значение с табличным для фильтров EPCOS:

$$L_{\text{min}} > \frac{K_{\text{ппп}}}{(2\pi f)^2 \times 2C_2} = \frac{200}{(2 \times 3,14 \times 10^6)^2 \times 2 \times 2200 \times 10^{-12}} = 1,15 \text{ мГн.}$$

Табличное значение составляет 2,7 мГн для одной катушки, то есть оно в 2,35 раза больше минимального значения, что полностью удовлетворяет требованиям.

Расчет конденсаторов подавления симметричных помех  $C_2$  и  $C_3$  проведем на частоте  $f_1 = 0,15$  МГц. По графику, представленному на рис. 10, уровень подавления симметричных помех составляет 8 дБ, тогда  $K_{\text{ппп}}$  равен 2,5. Следовательно:

$$C_{x\text{min}} > \frac{K_{\text{ппп}}}{(2\pi f_1)^2 \times 2L_{\text{min}}} = \frac{2,5}{(2 \times 3,14 \times 0,15 \times 10^6)^2 \times 2 \times 1,15 \times 10^{-3}} = 1,23 \text{ нФ.}$$

Табличное значение составляет  $C_x = 100$  нФ, запас более чем достаточный.

Простейший анализ, проведенный по кривым затухания, которые представлены в документации на определенную группу фильтров, подтверждает высокое качество компонентов EPCOS.

Помимо стандартных фильтров, компания EPCOS представляет ряд медицинских фильтров. На рис. 11 приведены графики зависимости коэффициентов затухания в децибелах от частоты для этих фильтров. Следует отметить еще одно достоинство, а именно компактный размер и возможность встраивания в корпус изделия (рис. 12).

Оба фильтра соответствуют требованиям МЭК 60939-1 и ГОСТ Р 51527-99.

Представленные фильтры — далеко не единственные фильтры компании EPCOS,

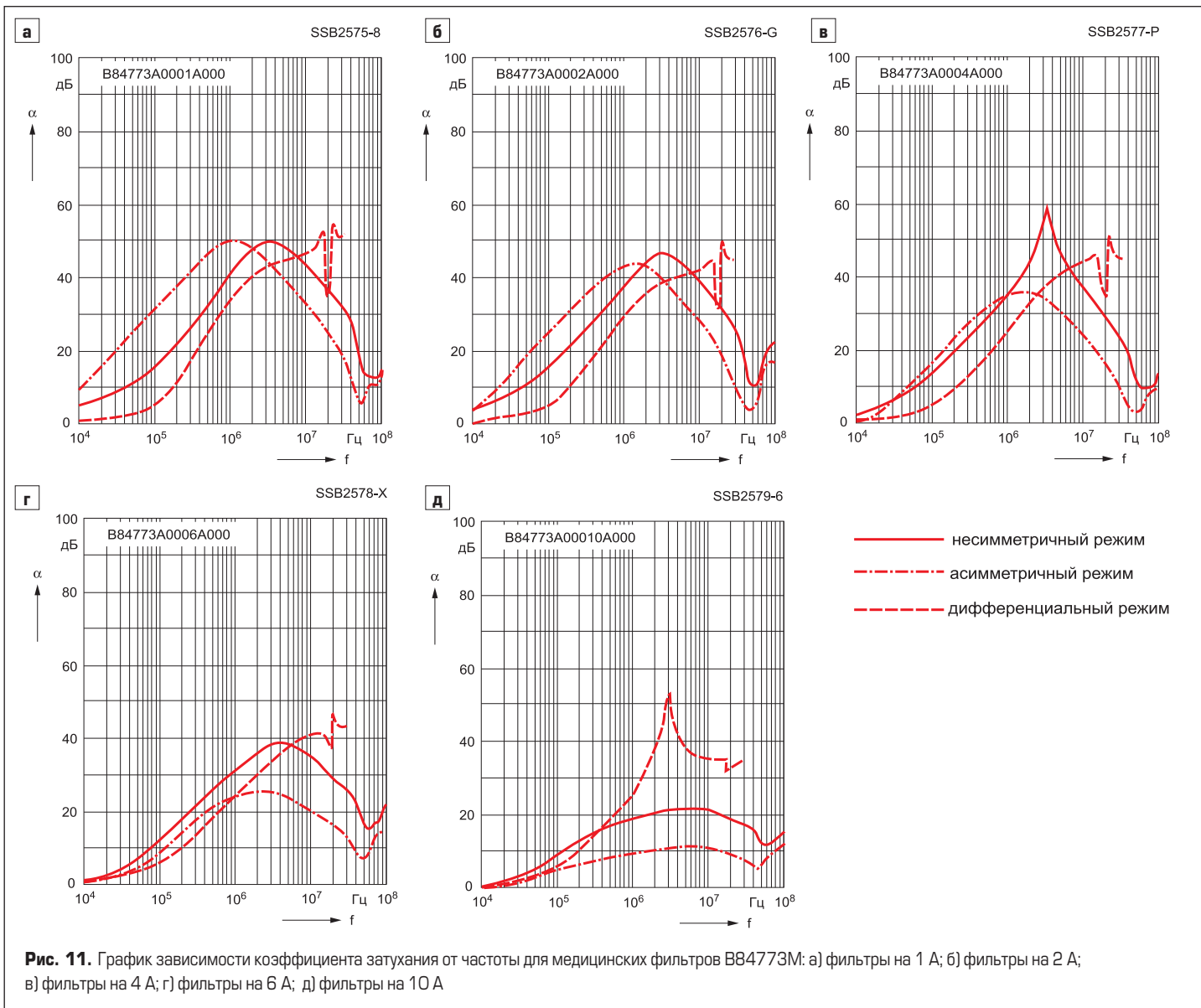


Рис. 11. График зависимости коэффициента затухания от частоты для медицинских фильтров B84773M: а) фильтры на 1 А; б) фильтры на 2 А; в) фильтры на 4 А; г) фильтры на 6 А; д) фильтры на 10 А

Литература

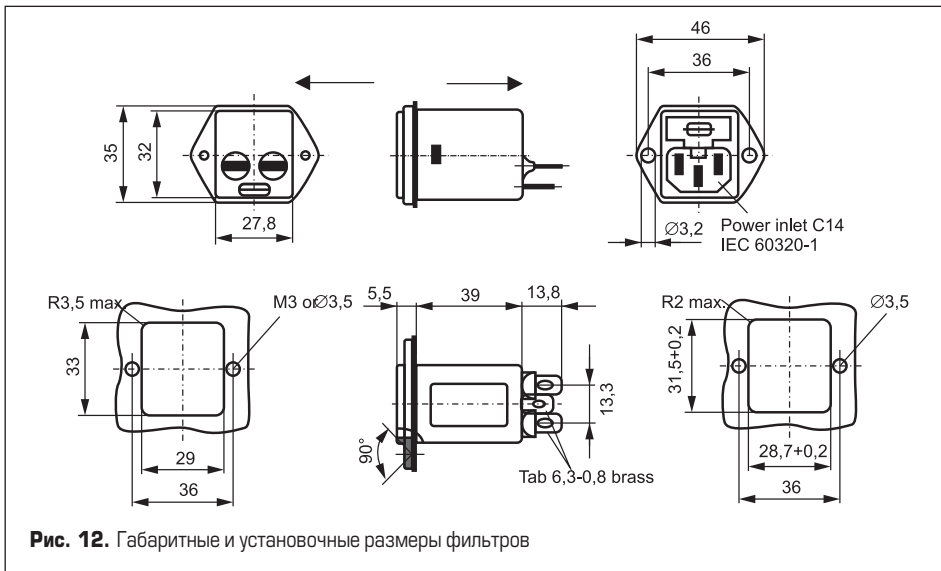


Рис. 12. Габаритные и установочные размеры фильтров

разработчик без труда сможет выбрать необходимый компонент из широкого спектра доступной номенклатуры.

Если возникнут затруднения с выбором, можно воспользоваться руководством, которое представлено на сайте EPCOS [6].

1. Глазенко Т. А., Сеньков В. И. Прогнозирование высокочастотных помех, создаваемых транзисторными широтно-импульсными преобразователями // Электричество. 1984. № 12.
2. ГОСТ Р 51527-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Стабилизированные источники питания постоянного тока. Кондуктивные электромагнитные помехи». Нормы и методы испытаний — Госстандарт РФ.
3. Насыров И. И. Специализированный источник тока для коагуляции водных растворов / Диссертация. Томск, 2011.
4. Векслер Г. С., Недочетов В. С. и др. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания. Киев, 1990.
5. Ланцов В., Эраносян С. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания. Часть 2 // Силовая электроника. 2007. № 1.
6. <http://en.tdk.eu/blob/531460/download/4/pdf-selectorguide.pdf>