

# КЕРАМИЧЕСКИЕ ПРОХОДНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ И ФИЛЬТРЫ НИЖНИХ ЧАСТОТ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М. Воловик,  
В. Смирнов

В большинстве публикаций, посвященных конструкциям керамических помехоподавляющих фильтров и рекомендациям по их применению, как правило, основное внимание уделяется компонентам зарубежных фирм (Spectrum Control, Erie, Tusonix, Murata и др.). Но определенную нишу в мировой номенклатуре занимают серии отечественных проходных конденсаторов и фильтров, которые практически не уступают по своим характеристикам зарубежным аналогам, но существенно дешевле их. Рассмотрим конструкции и характеристики серийно выпускаемых ОАО «НИИ «Гириконд» изделий, а также ближайшие перспективы новых разработок.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В связи с миниатюризацией аппаратуры, ростом чувствительности схем и компонентов к помехам, увеличением числа сигнальных линий и повышением частоты передачи сигналов ужесточаются требования к обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС). Согласно ГОСТ Р50397, под ЭМС понимается "способность технических средств функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам". Все технические средства, генерирующие такие помехи или восприимчивые к ним, обязательно должны сертифицироваться. Поэтому борьбе с помехами в последнее время уделяется все больше внимания как на стадии разработки аппаратуры, так и при ее производстве и эксплуатации.

Негативное воздействие оказывают помехи двух типов: передаваемые по проводникам (кондуктивные помехи) и наведенные электромагнитными колебаниями. Аналогичным образом, и воспринимающее устройство может быть чувствительно как к помехам, поступающим по проводам (кондуктивная восприимчивость), так и к помехам, создаваемым электромагнитными полями (восприимчивость к излучению). Один из основных способов подавления кондуктивных помех – применение помехоподавляющих фильтров, предназначенных для ограничения их уровня. Эти фильтры оказываются эффективными для снижения уровня помех как передаваемых источником, так и поступающих на воспринимающее устройство. Диапазон применения фильтров очень широк: от шин питания до шин данных и каналов связи. Велика и номенклатура помехоподавляющих фильтров. Среди них особое место занимают керамические проходные конденсаторы и фильтры, применяемые в основном как комплектующие изделия.

Основные параметры, описывающие эффективность фильтров, – частота среза (или частота начала фильтрации), на которой затухание равно 3 дБ, значение вносимого затухания в заданном диапазоне частот и наклон зависимости затухания от частоты. В зависимости полезного сигнала от полосы частот значения частоты среза могут колебаться от предельно низкого (менее 1 кГц) для линий питания постоянного тока до сотен мегагерц и выше. Значение вносимых потерь – мера эффективности помехоподавления, а крутизна характеристики – мера скорости достижения этого уровня подавления помех.

Действие фильтров основано на частичном поглощении сигналов ВЧ-помех в индуктивности и шунтировании через конденсатор на "землю" ВЧ-составляющей. В качестве индуктивности фильтров применяются катушки, намотанные на ферритовые сердечники, или токонесущий центральный проводник, окруженный магнитопроводом (трубкой) из термостабильного феррита, так называемый безвитковый дроссель.

Простейший С-фильтр, или проходной конденсатор, – это конденсатор с тремя выводами, два из которых представляют собой концы одного проводника (сигнальный, или силовой, вывод), соединяющего источник помехи и нагрузку. Третий – вывод на "землю". Частотная характеристика такого фильтра имеет самую малую

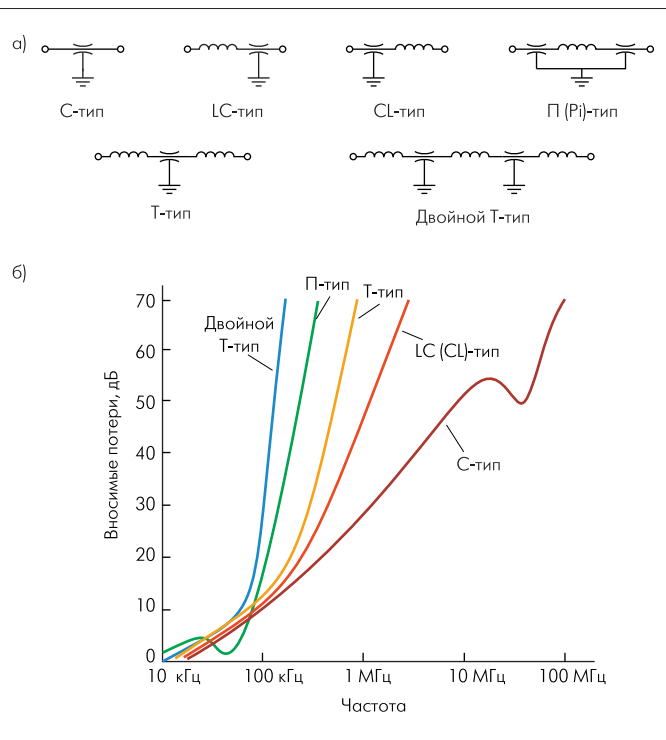


Рис. 1. Эквивалентные схемы (а) и частотные зависимости фильтров (б) различных типов

**Таблица 1. Основные параметры конденсаторов серии КТП**

Тип	Группы ТКЕ	Резьбовая втулка	Номинальная емкость, пФ	Номинальное напряжение, В	Реактивная мощность, ВА <sub>p</sub>
КТП-1	П100, М47, М75, М750, М1500 Н70	М5	5,6–220; 1500–3300	500; 400	30; 50; 1,5; 2,5
КТП-2	П100, М47, М75, М750, М1500 Н70	М6	8,2–470; 4700–6800	500; 400	60; 50; 2,5
КТП-3	П100, М47, М75, М750, М1500 Н70	М8	8,2–330; 10000; 15000	800; 400	60; 70; 3,5

крутизну. Для увеличения эффективности помехоподавления конденсатор и индуктивности соединяют в различной комбинации, образуя фильтры LC-, П- или Т-типов (рис. 1). Все рассматриваемые фильтры – фильтры нижних частот, которые пропускают постоянный ток или сигнал на частоте ниже частоты среза и ослабляют ВЧ-помехи. Отметим, что частоту среза определяет только значение емкости конденсатора, а наклон частотной характеристики – тип фильтра. Наиболее эффективны – фильтры П- и двойного Т-типов.

Разработкой и промышленным выпуском помехоподавляющих фильтров занимаются многие крупные фирмы США, Европы и Азии, поставляющие на мировой рынок около 16000 наименований помехоподавляющих конденсаторов и 8000 типов фильтров. Крупнейшие производители керамических конденсаторов, конструкции и параметры которых определяют основные характеристики фильтров, – Spectrum Control, Tusonix, AMP, Murata, TDK. Отечественная промышленность выпускает 16 типов керамических помехоподавляющих конденсаторов и шесть типов фильтров. Эти изделия, занимая определенную нишу в мировой номенклатуре помехоподавляющих приборов, по своим техническим характеристикам не уступают зарубежным компонентам.

**Прходные конденсаторы серии КТП.** Это первые проходные конденсаторы сравнительно простой конструкции, разработанные в конце 50-х годов. Они до сих пор находят применение и выпускаются мелкими сериями. Эти конденсаторы служат простейшими С-фильтрами, развязывающими по высокой частоте источники питания от нагрузки. Отличаются относительно высоким максимально допустимым напряжением (800, 500 и 400 В) по постоянному току (табл. 1). Следует отметить, что переменная составляющая приложенного напряжения для конденсаторов КТП, как и для других проходных конденсаторов и фильтров, с одной стороны, ограничивается максимально допустимым значением реактивной мощности, определяемой по формуле  $P_r = 2P f U^2 C$ , где:  $f$  – частота, измеряемая в герцах,  $U$  – переменная составляющая в вольтах,  $C$  – емкость в фарадах. При превышении этого значения может наступить тепловой пробой конденсатора из-за его перегрева, вызванного потерями энергии в диэлектрике. С другой стороны, амплитуда переменного напряжения не должна превышать допустимое номинальное напряжение постоянного тока. Конденсатор серии КТП представляет собой керамическую трубку с нанесенными на нее внутренним и внешним электродами, через которую проходит вывод, связывающий источник питания и нагрузку. К внешнему электроду припаяна резьбовая втулка, служащая элементом крепления, через которую помехи отводятся "на землю". Начиная с определенной частоты, сказывается индуктивность проходного вывода, и конденсатор превращается в LC-фильтр.

Такую же конструкцию и назначение имеют конденсаторы серии КТПМ, отличающиеся от КТП меньшими габаритами.

**Прходные конденсаторы серии К10-54,** в отличие от трубчатых проходных конденсаторов серии КТП, имеют монолитную многослойную конструкцию, состоящую из чередующихся тонких слоев керамического диэлектрика и серебряно-палладиевых

электродов, отдельные слои которых соединены параллельно. Такая конструкция позволила увеличить диапазон номинальных емкостей более чем в 100 раз, а их удельную емкость – на несколько порядков (табл. 2). Конденсатор крепится путем пайки наружного электрода к "заземленной" поверхности приборов. Сигнальный провод, электромагнитные помехи в котором подлежат фильтрации, пропускается через сквозное отверстие в конденсаторе и припаивается к внутреннему электроду. При монтаже конденса-

торов группы Н90 рекомендуется применять припои, температура плавления которых не превышает 210°C, для групп МПО и Н50 – припои с температурой плавления не более 240°C. В качестве проходного вывода рекомендуется медный серебрянный или луженый одножильный провод. Возможно применение гибкого многожильного провода. Диаметр одножильного провода для конденсаторов с внутренним отверстием диаметром 1,3 мм не должен превышать 0,8 мм, с диаметром отверстия 2,5–2 мм. Провод припаивается перпендикулярно торцевой поверхности конденсатора, изгиб его после пайки допускается на расстоянии не менее 4 мм от нее. При пайке заранее изогнутого провода, чтобы избежать электрического разряда, изогнутый участок не должен быть ближе 2 мм к поверхности конденсатора. Для предотвращения механического резонанса (нижняя резонансная частота конденсатора этого типа превышает 5 кГц) провод, проходящий через конденсатор, должен быть жестко закреплен на расстоянии не более 4 мм от поверхности конденсатора с обеих его сторон. Конденсаторы серии К10-54 применяются в различных конструкциях ЕМИ-фильтров.

**Таблица 2. Основные характеристики конденсаторов серии К10-54**

Группа ТКЕ	$U_{ном}$ , В	Номинальная емкость	Габаритные размеры*, мм, макс.			Реактивная мощность, ВА <sub>p</sub>			
			D	d	H				
МПО	50	820–22 пФ	4,5–12,5	0,5–2,0	3–4	10–40			
	100	150–18 пФ							
	350	4,7–1800 пФ							
Н50	50	0,068–1,5 мкФ				4,5–12,5	0,5–2,0	3–4	0,5–2,0
	100	0,01–1,0 мкФ							
	350	470–150 пФ							
Н90	50	0,068–0,1 мкФ	4,5–12,5	0,5–2,0	3–4				0,5–2,0
	50	0,22–6,8 мкФ							
	80	0,1–3,3 мкФ							
	250	0,015–0,47 мкФ							

\* D – внешний диаметр, d – внутренний диаметр, H – высота.

**Фильтры серии Б7-2, Б14, Б23А, Б24** выполнены на базе трубчатых конденсаторов. Это – Pi-фильтры, содержащие один индуктивный и два емкостных элемента. Основное отличие их от проходных конденсаторов заключается в том, что внутренние электроды фильтра выполнены на двух отдельных изолированных друг от друга поверхностях, образующих два конденсаторных элемента, емкость каждого из которых равна половине номинальной емкости фильтра. На проходящий через фильтр внутренний вывод надета ферромагнитная трубка, создающая вместе с выводом индуктивный элемент, значение индуктивности которого лежит в пределах 0,03–1,8 мкГн (табл. 3, 4). В зависимости от конкретных условий применения и конструкции фильтры монтируются в аппаратуру пайкой за корпус (Б7-2, Б23А, Б24) или при помощи резьбовой втулки (Б14 и Б24). При этом необходимо соблюдать осторожность, так как изгибающие нагрузки, большие крутящие моменты (более 0,025 кгс·м) и удары приводят к образованию трещин и сколов керамики и могут вывести фильтр из строя. При пайке фильтров за корпус следует применять режимы, указанные в технических усло-

Таблица 3. Основные характеристики фильтров серий Б7-2, Б-14, Б-23А

Тип фильтра	Диапазон частот помехоподавления, МГц	Группа ТКЕ	Номинальная емкость, пФ	Номинальное напряжение, В	Реактивная мощность, ВА <sub>р</sub>	Ток, А, макс.	Индуктивность, мкГн
Б7-2	100–1500	Н70	4700	250	2,5	5	0,05
Б-14	100–1500	Н70	3300; 4700	500	2,5	5	0,05
Б-23А	100–10000	Н30	1000; 1500	250	2,5	10; 15	0,05

Таблица 4. Основные характеристики фильтров серии Б-24

Группа ТКЕ	М750	М1500	М2200	М3300	Н30	Н50	Н70	Н90
Номинальное напряжение, В	250	250	250	250	100	100	100	100
Номинальная емкость, пФ	43–91	91–240	240–560	560–910	910–1600	1600–3000	3000–5100	5100–10000
Индуктивность, мкГн	0,030–0,0085	0,060–0,130	0,060–0,130	0,090–0,220	1,2–1,8	1,2–1,8	1,2–1,8	1,2–1,8
Диапазон частот помехоподавления, МГц	0,7–10000							
Вносимое затухание на частотах 100–1500 МГц, дБ	3,0–65	3,0–65	3,0–65	3,0–65	10–70	10–70	10–70	10–70
Длина корпуса, мм	10; 12							

виях, так как при перегреве или термоударах в керамическом корпусе могут возникнуть трещины.

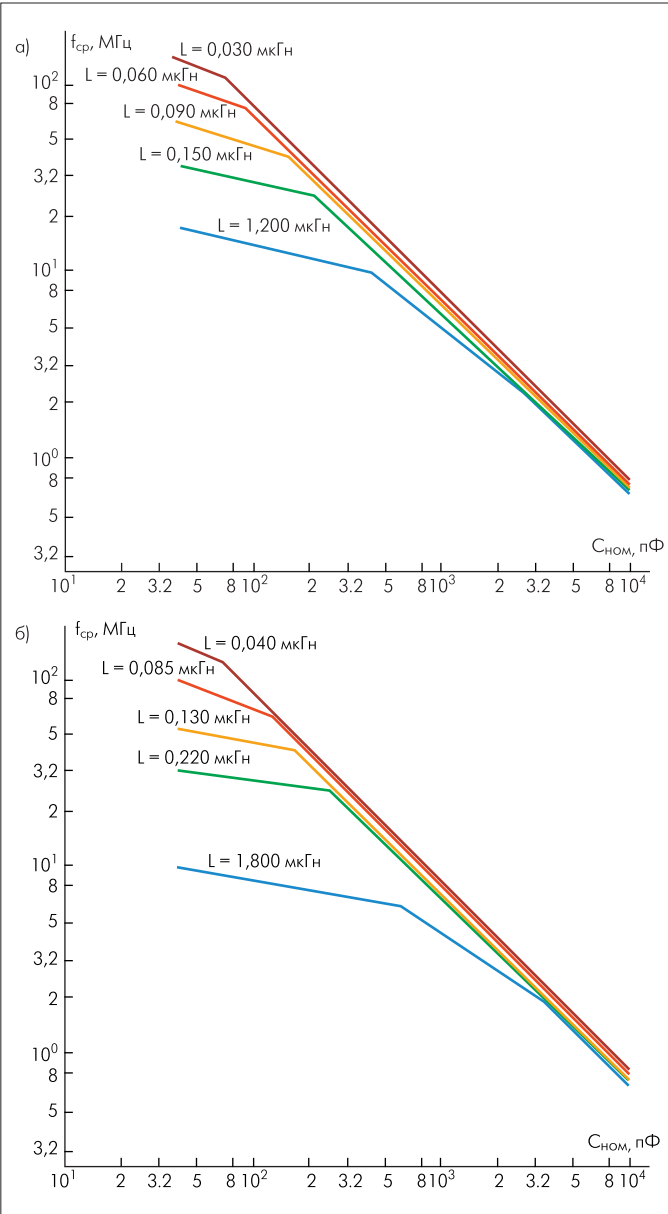


Рис.2. Характер зависимости частоты среза от емкости фильтров Б-24 а) длиной 12 мм; б) длиной 10 мм

Вносимое затухание фильтров серии Б7-2 в диапазоне частот 100–200 МГц составляет 35 дБ, в диапазоне 200–800 МГц – 50дБ, 800–1500 МГц – 35 дБ; серии Б14 в диапазоне 100–1500 МГц – 40 дБ; серии Б-23А – 40–45дБ во всем диапазоне частот помехоподавления.

На рис.2 приведены зависимости частоты среза от емкости для наиболее перспективных фильтров серии Б-24, а на рис.3 – характер зависимости вносимого затухания от частоты.

Максимальная емкость рассмотренных выше фильтров составляет 10 нФ, в результате чего нижняя граница частотного диапазона помехоподавления

равна 100 МГц для фильтров Б7-2, Б-14, Б23-А и 0,7 МГц для фильтров Б24 (табл.5). Для снижения этой границы необходимо существенно увеличить емкость фильтра, что невозможно для конденсаторов трубчатой конструкции.

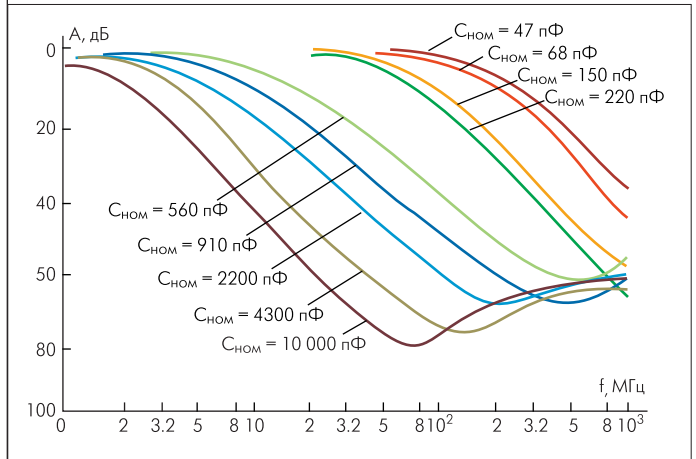
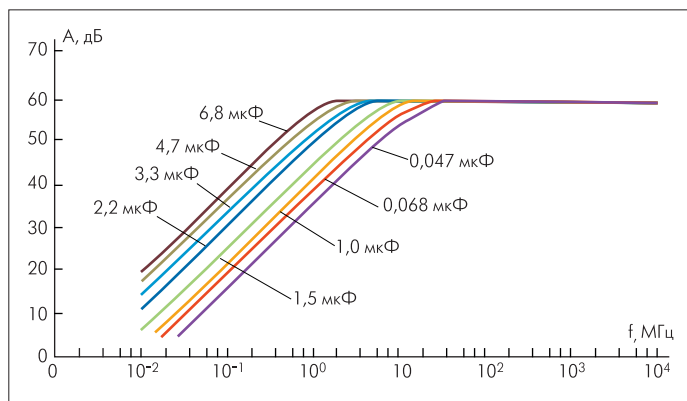


Рис.3. Характер зависимости вносимого затухания фильтров Б-24 от частоты

**LC-фильтры серии Б23Б** выполнены с монолитными многослойными конденсаторами К10-54 емкостью 0,047–6,8 мкФ. Это позволило снизить нижнюю границу диапазона помехоподавления

Таблица 5. Основные характеристики фильтров серии Б24Б

ТКЕ	Номинальное напряжение, В	Максимальный ток, А	Номинальная емкость, мкФ	Индуктивность, мкГн	Реактивная мощность, ВА <sub>р</sub>
Н70	50	10	0,47; 0,68	0,05	2
			0,47; 0,68; 1,0		3
			1,5; 2,2		7
			2,2; 3,3		10
			4,7; 6,8		20
Н90	250	10	1,5; 2,2	0,05	7
			2,2; 3,3		10
			4,7; 6,8		20
		25	0,047	Не нормируется	3
			0,047; 0,068		5
			0,047; 0,068; 0,1; 0,15		10
25	25	25	0,1; 0,15; 0,22; 0,33	Не нормируется	20
			0,22; 0,33; 0,470		30
			0,047; 0,068; 0,1; 0,15		10
			0,1; 0,15; 0,22; 0,33		20
			0,22		30



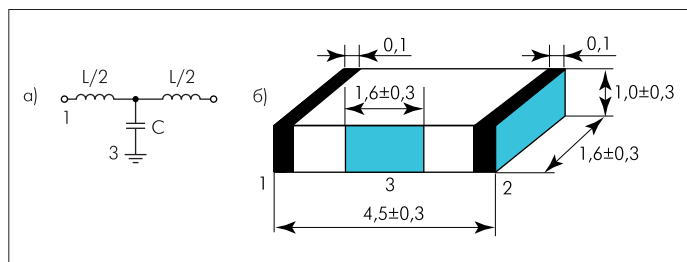
**Рис. 4. Характер зависимости вносимого затухания фильтров Б23Б от частоты**

до 10 кГц. Емкостные элементы, проходные выводы, ферритовые трубки (для фильтров на ток 10 А) размещены внутри керамического корпуса и герметизированы эпоксидным компаундом. На рис.4 приведены зависимости вносимого затухания от частоты при сопротивлении схемы 75 Ом. Следует отметить, что эти характеристики условны и зависят от значений полного сопротивления источника помех и нагрузки, переходного сопротивления между корпусом фильтра и корпусом аппаратуры и ряда других факторов, плохо поддающихся расчету. Приближенный расчет зависимости вносимого затухания фильтров в диапазоне частот помехоподавления от 10 кГц до 10 МГц при значениях затухания не более 60 дБ для фильтров на напряжение 50 В и не более 50 дБ для фильтров на напряжение 250 В может производиться по формуле

$$A = 20 \lg \frac{1 + (1,5wRC)^2}{1}$$

где  $A$  – вносимое затухание, измеряемое в децибелах,  $w$  – круговая частота, в единицах, деленных на сантиметры,  $C$  – емкость, в фарадах,  $R$  – сопротивление измерительной схемы, равное 75 Ом. Таким образом, частотные зависимости затухания фильтров при сравнительно близких значениях емкостей конденсаторов (например, в диапазоне 2,2–6,8 мкФ) различаются незначительно и определяются в основном частотой среза, лежащей ниже 10 кГц. Отсюда следует практический вывод о том, что для экономии средств не следует без необходимости применять фильтры большой емкости и что можно применять фильтры с близкими значениями емкости без ухудшения характеристик помехоподавления.

**LC-фильтры серии К10-78**, в отличие от отечественных фильтров ранних разработок, выпускаются в чип-исполнении и монтируются в корпус для поверхностного монтажа. За основу принята базовая конструкция многослойного монокристаллического чип-конденсатора. Особенность фильтров этой серии – конфигурация внутренних электродов, состоящая из проходного электрода, выходящего на торцевые контактные площадки, и Т-образного электрода, создающего третью контактную площадку и фор-

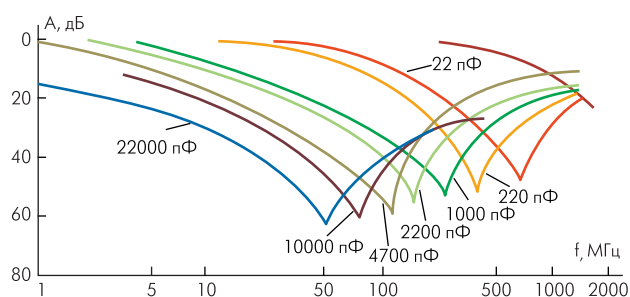


**Рис.5. Конструкция (а) и эквивалентная схема (б) фильтров серии К10-78**

**Таблица 6. Основные характеристики фильтров серии К10-78**

Группа по ТКЕ	Номинальное напряжение, В	Максимальный ток, мА	Номинальная емкость, пФ	Реактивная мощность, ВА <sub>р</sub>
МПО	100	300	22–220	3
М750	–	–	470–1000	0,5
Н50	–	–	1000–22000	0,12

мирующего емкость с проходным электродом (рис.5). Через этот электрод электромагнитные помехи отводятся на "землю". Частота среза фильтров этого типа на уровне 3 дБ лежит в диапазоне от 0,25 МГц для конденсатора емкостью 22 нФ до 302,2 МГц для кон-

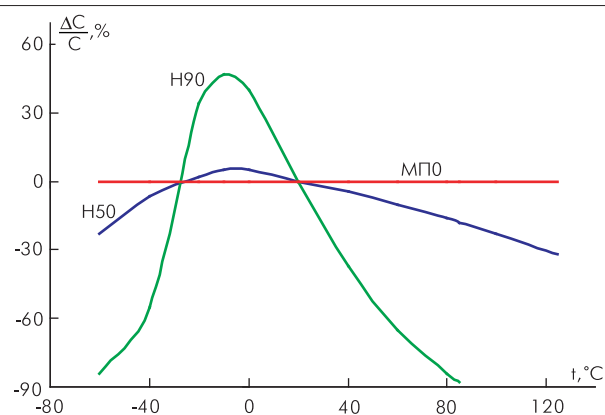


**Рис.6. Частотные зависимости вносимого затухания фильтров серии К10-78**

денсатора емкостью 22 пФ. Значение вносимого затухания на частотах, близких к 1000 МГц, составляет 17–18 дБ (рис.6). По своим параметрам фильтры серии К10-78 близки к фильтрам серии NFM 40R фирмы Murata (табл.6).

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НОВЫХ РАЗРАБОТОК

Из температурных зависимостей емкости фильтров различных групп температурной стабильности следует, что фильтры Б23Б (Н90) с большими значениями емкости в диапазоне температур -20–30°C за пределами этого диапазона теряют свои достоинства, и при крайних рабочих температурах фактическое значение емкости составляет всего около 10% от номинального значения (рис.7). При этом вносимое затухание может снизиться на 20–30 дБ. Сей-



**Рис.7. Температурная зависимость емкости фильтров различных групп температурной стабильности**

час на базе конструкции фильтров Б23Б с использованием новых стабильных керамических материалов заканчивается разработка модернизированного варианта Б23Б-М групп температурной стабильности МПО, Н50, Н90. Диапазон номинальных значений емкости фильтра на номинальные напряжения до 500 В составляет 68 пФ (МПО) – 6,8 мкФ (Н90). Номинальное напряжение фильтров но-

вой серии планируется увеличить до 1000 В. Фильтры смогут заменить конденсаторы серии КТП, фильтры Б14, Б23Б и др.

Для применения в условиях жестких механических нагрузок разрабатываются первые отечественные фильтры С- и LC-типов в металлических корпусах, конструктивно подобные зарубежным фильтрам типа "Bolt-in-filters" и сопоставимые по параметрам с фильтрами серии Б23Б-М.

Планируется создание фильтров на номинальный ток до 200 А, многозвенных фильтров, фильтров для наплатного монтажа, фильтров с варисторной защитой.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Джуринский К.** Миниатюрные помехоподавляющие фильтры для РЭА СВЧ. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №3, с.24–30.

**Воловик М.** Отечественные керамические конденсаторы и фильтры для подавления электромагнитных помех. – Компоненты и технология, 2002, №5, с.8–11.

**Бландова Е.** Помехоподавляющие изделия. Рекомендации по выбору и применению. – Специальная техника, 2001, №1.

**Кечиев Л.Н., Бобков А.Л., Степанов П.В.** Помехоподавляющие фильтры. Параметры и характеристики. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 1999.

**Скрипников А.** ЕМИ – фильтры Murata. – Компоненты и технология, 2002, №2, с.14–16.

**Малкин А., Шепелев С.** Помехоподавляющие фильтры фирмы Spectrum control. – Электронные компоненты, 1997, №7 (8), с.24–25.



#### Средства предотвращения террористических актов

Центр коммерциализации перспективной технологии (Center for Commercialization of Advanced Technology – CCAT) США объявил лауреатов премии за лучшие достижения в области средств предотвращения террористических актов как военного, так и гражданского назначения. Центру оказывает поддержку Конгресс США, финансируется он Пентагоном как частно-общественное совместное содружество представителей науки, промышленности и правительства.

Среди лауреатов премии CCAT (75 тыс.долл.) компания Harbor Offshore – за рыночные исследования, позволившие выпустить на военный и гражданский рынки созданную ее разработчиками систему охраны и обеспечения безопасности портов. Система содержит защитное поглощающее энергию сеточное ограждение, способное предотвратить высокоскоростные угрозы в гаванях и портах. Еще одна премия, размером также 75 тыс. долл., поможет компании 20/20 GeneSystems реализовать второе поколение анализатора опасных для жизни веществ BioCheck. Комплект BioCheck первого поколения успешно используется для выявления подозрительных порошков, которые могут содержать вирусы сибирской язвы и другие опасные биореагенты.

Грант такой же суммы получила и компания Energetics Corp. Он предназначен для разработки портативных электрохимических источников питания. Компания намерена создать анионные мембраны с высокой ионной проводимостью. Предполагается, что такие ячейки заменят литиевые батареи. Четвертый грант (сумма та же) был выдан Trex Enterprises с целью создания на базе пассивной СВЧ-камеры образцов портативной ручной системы обнаружения керамических и других неметаллических взрывчатых веществ, представляющих опасность для жизни.

www.eet.com