

КЕРАМИЧЕСКИЕ ПРОХОДНЫЕ ФНЧ С МАЛЫМИ ПОТЕРЯМИ

Борьба с ЭМП всегда являлась одной из серьезнейших проблем при создании радиоэлектронной аппаратуры. В настоящее время эта проблема стала еще более острой вследствие возрастания функциональных возможностей, миниатюризации, увеличения плотности компоновки и сложности аппаратуры, роста взаимного влияния ее элементов. Наиболее опасными являются кондуктивные помехи, распространяющиеся в проводящих цепях питания, управления, коммутации, а также в цепях полезных сигналов. Для фильтрации таких помех служат помехоподавляющие фильтры нижних частот, к которым и относятся разрабатываемые и выпускаемые ОАО "НИИ "Гириконд" в течение многих лет керамические помехоподавляющие проходные конденсаторы и фильтры. Имеющаяся научная и технологическая база института в области керамических материалов и конденсаторов обеспечивает высокий технический уровень этих изделий.

Среди большого количества помехоподавляющих фильтров, предназначенных для предотвращения распространения электромагнитных помех (ЭМП) из внешней среды в электронную аппаратуру или от электрических машин и приборов во внешнюю среду особое место занимают керамические проходные конденсаторы и фильтры. Отличаясь от сетевых и других сравнительно крупногабаритных фильтров, которые могут работать как отдельные устройства, они в основном применяются в качестве комплектующих изделий различных электронных устройств.

Конструктивно фильтры представляют собой сочетание емкостных и индуктивных элементов, соединенных по С-, LC-, Pi- или T-схеме. Конденсаторы, включенные параллельно входному сигналу, обеспечивают низкое сопротивление для высокочастотных помех, закорачивая их на "землю", а индуктивность, включенная последовательно, имеет для этих помех высокое сопротивление. Тщательный вы-

М.Красильщиков, В.Смирнов, А.Шалаева
352@giricond.spb.ru

бор значений емкости и индуктивности позволяет эффективно фильтровать помехи и шумы в диапазоне от низких до высоких частот.

Основными параметрами фильтра, определяющими его эффективность, являются рабочий диапазон частот помехоподавления, значения вносимого затухания на этих частотах и частота среза, при которой затухание равняется 3 дБ.

Приблизительно рассчитать вносимое затухание фильтров С-типа в диапазоне частот помехоподавления от 10 кГц до 100 МГц при значениях вносимого затухания до 60 дБ и воздействии различных факторов можно по формуле [1]:

$$A = 20 \lg \sqrt{1 + (0,5\omega RC)^2}, \quad (1)$$

где A – вносимое затухание, дБ; ω – круговая частота, с^{-1} ; R – сопротивление измерительной схемы, Ом; C – фактическая емкость фильтра с учетом воздействующего фактора, Ф.

Эта формула отражает зависимость емкостного сопротивления фильтра от частоты и справедлива для линейного участка $A(\omega)$. Измерения вносимого затухания разработанных фильтров проводились при сопротивлении измерительной схемы, равном 50 Ом.

Основные параметры, определяющие вносимое затухание – это тип фильтра, емкость, индуктивность и сопротивление цепи, в которую он включается. Следует иметь в виду, что фактическая емкость при различных воздействующих факторах может существенно отличаться от номинального значения. Так, например, для фильтров группы Н90 при крайних рабочих температурах фактическое значение емкости может составлять всего 10% от номинального значения. Большое влияние на емкость фильтров для группы Н90 оказывает и величина рабочего напряжения.

Для фильтров групп Н20 и Н50 (табл.1) зависимость емкости от температуры и напряжения менее выражена (особенно для группы Н20), а для группы МП0 практически отсутствует. Поэтому с учетом реальных условий применения может оказаться более эффективным использование фильтров с меньшей номинальной емкостью, но более стабильной группы ТКС (например, Н20 вместо Н90). Увеличе-



ние емкости фильтра не изменяет крутизну частотной характеристики вносимых потерь, но снижает частоту среза. При изменении сопротивления цепи изменяется крутизна этой характеристики. При уменьшении сопротивления цепи меньшими становятся вносимые потери и наоборот.

В ТУ на фильтры значения вносимого затухания A на различных частотах указаны для измерительной системы с сопротивлениями источник-нагрузка, равными 50 Ом. В реальной аппаратуре сопротивления систем, как правило, отличаются от этой величины. Для пересчета значений A для системы с сопротивлениями, отличными от 50 Ом, можно воспользоваться формулой [2, 3]:

$$A \text{ (дБ)} = 20 \lg [1 + Z_s Z_l | Z_t(Z_s + Z_l)], \quad (2)$$

где Z_s – внутреннее сопротивление источника, Z_l – полное сопротивление нагрузки, Z_t – передаточное сопротивление, определяемое по графику (рис.2) для значения затухания в LC-типе 50-Ом системе.

Для определения частоты среза фильтров С-типа рекомендуется пользоваться соотношением [3]:

$$f_c = 1/\pi RC, \quad (3)$$

где f_c – частота среза, Гц; R – сопротивление измерительной системы, Ом; C – емкость фильтра, Ф.

Подставив для нашего случая $R = 50$ Ом, получим $f_c = 6,37 \cdot 10^{-3}/C$. Указанное соотношение для частоты среза приводится и в работе [4].

Соотношение (3) оказалось довольно близким к фактическим значениям и для фильтров LC- и Pi-типов. Для вновь разрабатываемых фильтров вместо имевшегося ранее ограничения по максимально допустимой реактивной мощности предусмотрено ограничение по эффективному значению емкостного тока: 300 мА для фильтров групп МП0, Н20, Н50 и 200 мА для группы Н90. При этом превышение температуры поверхности фильтра над температурой окружающей среды не должно быть больше 10°C. Для фильтров Б24 ограничение по емкостному току не является актуальным, так как при реальных значениях частоты и напряжения в цепях питания или величины фильтруемых помех в сигнальных линиях даже при максимальной емкости 10 000 пФ значения емкостных токов будут незначительными.

Некоторые характеристики, определяемые материалом диэлектрика емкостных элементов фильтра, приведены в табл.1.

ИЗМЕРЕНИЕ ВНОСИМОГО ЗАТУХАНИЯ

Сделаем некоторое отступление. В журнале "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ", 2004, №7 была опубликована статья "Керамические проходные конденсаторы и фильтры нижних частот" [1]. В том же журнале (2005, №1) известный специалист в области компонентов для СВЧ К.Б. Джуринский откликнулся на эту статью публикацией "Отечественные и зарубеж-

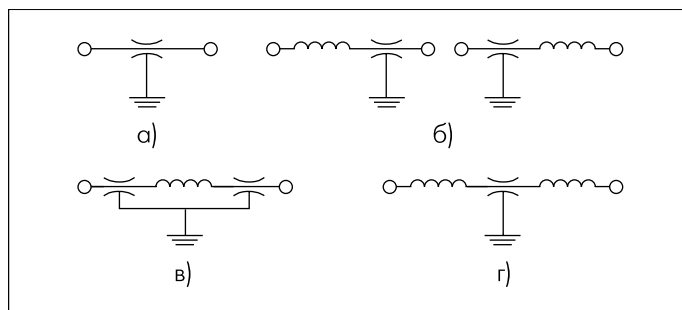


Рис. 1. Электрические схемы:

а) С-фильтра; б) LC-фильтров; в) Pi-фильтра г) фильтров Т-типа

ные помехоподавляющие фильтры для микроэлектроники СВЧ, какие лучше?" [5].

Объектом рассмотрения автором этой публикации были отечественные и зарубежные помехоподавляющие фильтры для микроэлектроники СВЧ (диапазон частот по ГОСТ 24375-80 3–30 ГГц). Автор статьи сделал вывод, что для указанного диапазона частот наиболее подходящими (в первую очередь по геометрическим размерам) являются фильтры Б24 (ОАО "НИИ "Гириконд") и КРПГ (ФГУП "НПП "Исток"). Остальные замечания сводились к следующему:

- отечественные фильтры не являются миниатюрными и герметичными;
- значения основного параметра фильтров – вносимого затухания – приводятся для измерительной схемы с волновым сопротивлением 75 Ом а не 50 Ом, как у зарубежных производителей фильтров;
- не рассмотрены методы и точность измерения вносимого затухания;
- отсутствие отечественных фильтров в металлических корпусах и низкая механическая прочность керамического корпуса.

За прошедшие с момента опубликования этих статей годы в ОАО "НИИ "Гириконд" были разработаны новые серии фильтров Б24, Б25 и Б26, проведены исследования их помехоподавляющих свойств и продолжаются работы в этих направлениях. При этом были учтены и замечания, высказанные К.Б.Джуринским. Следует отметить, что эти фильтры предназначены для обеспечения электромагнит-

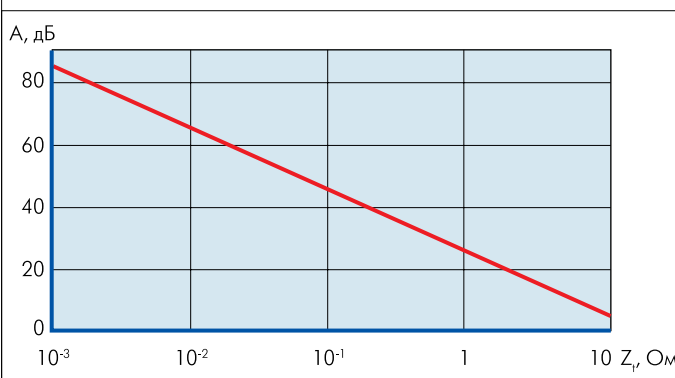


Рис.2. Зависимость передаточного сопротивления Z_t в 50-Ом системе

Таблица 1. Характеристики емкостных элементов фильтров

Группа температурной стабильности	МПО	М750	М1500	М2200	М3300	Н20	Н30	Н50	Н70	Н90
Изменение емкости в интервале рабочих температур, %	±1	±12	±25	±30	±50	±20	±30	±50	±70	±90
Сопротивление изоляции, мин, МОм	10 000					3000				
Тангенс угла потерь, макс.	0,0015	0,002	0,005	0,01	0,035					
Интервал рабочих температур, °С	-60–125								-60–85	

ной совместимости и защищенности в различных областях техники, частью которых является и СВЧ-электроника.

Отечественный стандарт на методы измерения вносимого затухания [6] предусматривает полосу частот 0,01–1000 МГц при несимметричной схеме измерения без рабочего тока методом отношения напряжений или методом замещения. При этом для максимально возможного исключения погрешности, вносимой испытательным контейнером, в котором размещается фильтр, устанавливаются довольно жесткие требования к коэффициенту стоячей волны (не

более 1,5) относительно волнового сопротивления измерительной схемы. Затухание сигналов, проникающих помимо цепей фильтра, должно превышать максимальное значение вносимого затухания не менее чем на 10 дБ. Вносимое затухание (А) в децибелах вычисляются по формуле:

$$A = 20 \lg U_1 / U_2, \tag{4}$$

где U_1 – напряжение в цепи без фильтра; U_2 – напряжение с установленным фильтром.

В американском военном стандарте MILL-STD-220В наоборот: за U_1 принимается напряжение в цепи с фильтром, за U_2 – напряжение без фильтра. Из этого следует, что при графическом построении зависимости вносимого затухания от частоты при его расчете в соответствии с российскими стандартами его значение должно увеличиваться, а по американскому стандарту – уменьшаться с частотой, причем с отрицательным знаком. Практически во всех каталогах зарубежных фирм имеется ссылка на MILL-STD-220, но графические зависимости вносимого затухания от частоты выполняются по-разному.

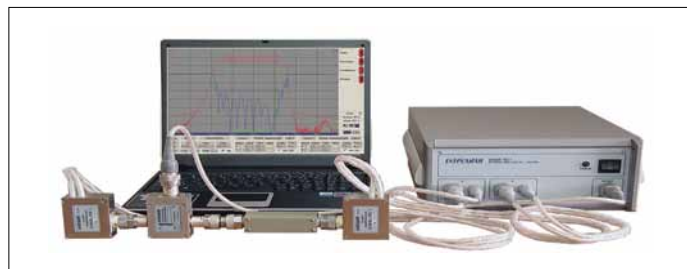


Рис.3. Измеритель комплексных коэффициентов передачи "Обзор-103"

Таблица 2. Номинальные емкости и размеры фильтров Б24

Группа ТКЕ	C _{ном} , пФ	U _{ном} , В	I _{ном} , А	L, мкГн, не менее	Размеры, мм		
					L	L1	L2
					а, б, в	б	в
М750	43–62	250	10	0,05	10	20,5	6
	43–91			0,07	12	22,5	8
М1500	91–180			0,08	10	20,5	6
	91–240			0,11	12	22,5	8
М2200	240–430			0,08	10	20,5	6
	240–560			0,11	12	22,5	8
М3300	560–820			0,12	10	20,5	6
	560–910			0,18	12	22,5	8
Н30	1000–1200			1,0	10	20,5	6
	1000–1500			1,5	12	22,5	8
Н50	1500–2200	1,0	10	20,5	6		
	1500–2700	1,5	12	22,5	8		
Н70	3300	100	5	1,0	10	20,5	6
	3300–4700			1,5	12	22,5	8
Н90	4700			1,0	10	20,5	6
	6800–10000			1,5	12	22,5	8

Примечание. Промежуточные значения номинальных емкостей по ряду Е6 для групп Н70, Н90; Е12 для Н30; Н50 и Е24 для остальных групп.



Таблица 3. Вносимое затухание фильтров Б24 и Б24-1 (С-тип выделен курсивом)

С, пФ	F _{ср} , МГц	F _{ср} , рас- четное	L, мкГн	А, дБ Частоте, МГц										
				2	5	10	20	50	100	200	300	500	800	1000
78,3	89,6	81,2	0,12	–	–	–	–	–	4,5	11	18	28	36	40
143,7	46,6	44,2	0,13	–	–	–	0,8	3,5	8	15	20	30	39	40
<i>533</i>	<i>10,8</i>	<i>12</i>	<i>0,01</i>	–	–	2	12	15	20	22	30	35	53	12
<i>728</i>	<i>9,13</i>	<i>8,8</i>	<i>0,01</i>	–	–	4	13	15	20	20	31	44	55	60
1060	5,84	6,0	0,01	–	–	5	12	20	25	20	30	48	55	56
1460	3,95	4,36	2,4	–	3,5	9	19	33	44	55	62	67	67	60
1666	3,83	3,84	0,01	–	4	8	15	25	27	20	25	53	59	60
<i>5130</i>	<i>1,15</i>	<i>1,25</i>	<i>0,01</i>	4	13	18	25	30	35	25	32	35	38	38
8480	0,96	0,75	1,8	8	22	39	47	55	81	80	81	48	65	60
15400	0,9	0,41	2,4	8,5	26	42	57	72	88	85	70	70	72	70

Ранее в [1] и технических условиях на фильтры Б24, Б25 также различался характер приводимых графиков зависимости затухания от частоты.

Для измерения вносимого затухания в диапазоне частот от 0,3 до 1300 МГц использовался современный компьютеризированный измеритель комплексных коэффициентов передачи "Обзор-103" (рис.3). Динамический диапазон измерения в диапазоне частот от 0,3 до 1 МГц – 110 дБ, от 10 до 1300 МГц – 123дБ, КСВН входов не более 1,35. Для измерения затухания на частотах свыше 1ГГц использовался измеритель комплексных коэффициентов передачи типа Р4-36 в диапазоне частот до 10 ГГц. Погрешность измерения вносимого затухания фильтров ±3,5 дБ находится на уровне 80 дБ.

ФИЛЬТРЫ Б24

Серия отечественных проходных помехоподавляющих керамических фильтров Б24 категории качества ОТК с использованием в качестве емкостного элемента трубчатого конденсатора была разработана в НИИ "Тириконд" в 1997–1998 годах [1]. При их опробовании потребителями выявилась потребность в таких фильтрах категории качества ВП для аппаратуры военного и космического назначения. Фильтры Б24 этой категории качества были разработаны в 2007 году [7] и начато их серийное производство.

Емкостным элементом фильтров служит трубчатый проходной конденсатор, внутренний электрод которого сплошной у фильтров Б24-1 (С-типа). У фильтров Б24 (Р-типа) электрод выполнен из двух отдельных изолированных друг от друга поверхностей, образующих два конденсаторных элемента, емкость каждого из которых равна половине номинальной емкости фильтра. На проходящий через фильтр Б24 внутренний вывод надет ферромагнит-

ный сердечник, создающий вместе с выводом индуктивный элемент. На рис.4 приведены конструкции и электрические схемы, в табл.2 – электрические параметры и размеры фильтров.

В табл.3 приведены измеренные на приборе "Обзор-103" значения вносимого затухания фильтров Б24 (прямой шрифт) и Б24-1 (курсив), а на рис.5а,б,в – построенные этим прибором зависимости вносимого затухания от

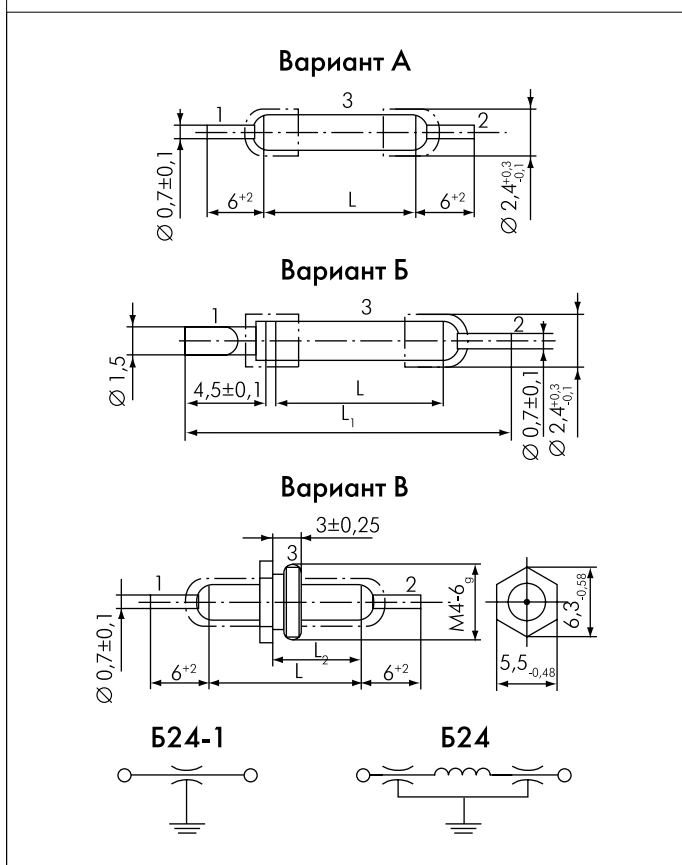


Рис.4. Конструкции и электрические схемы фильтров Б24

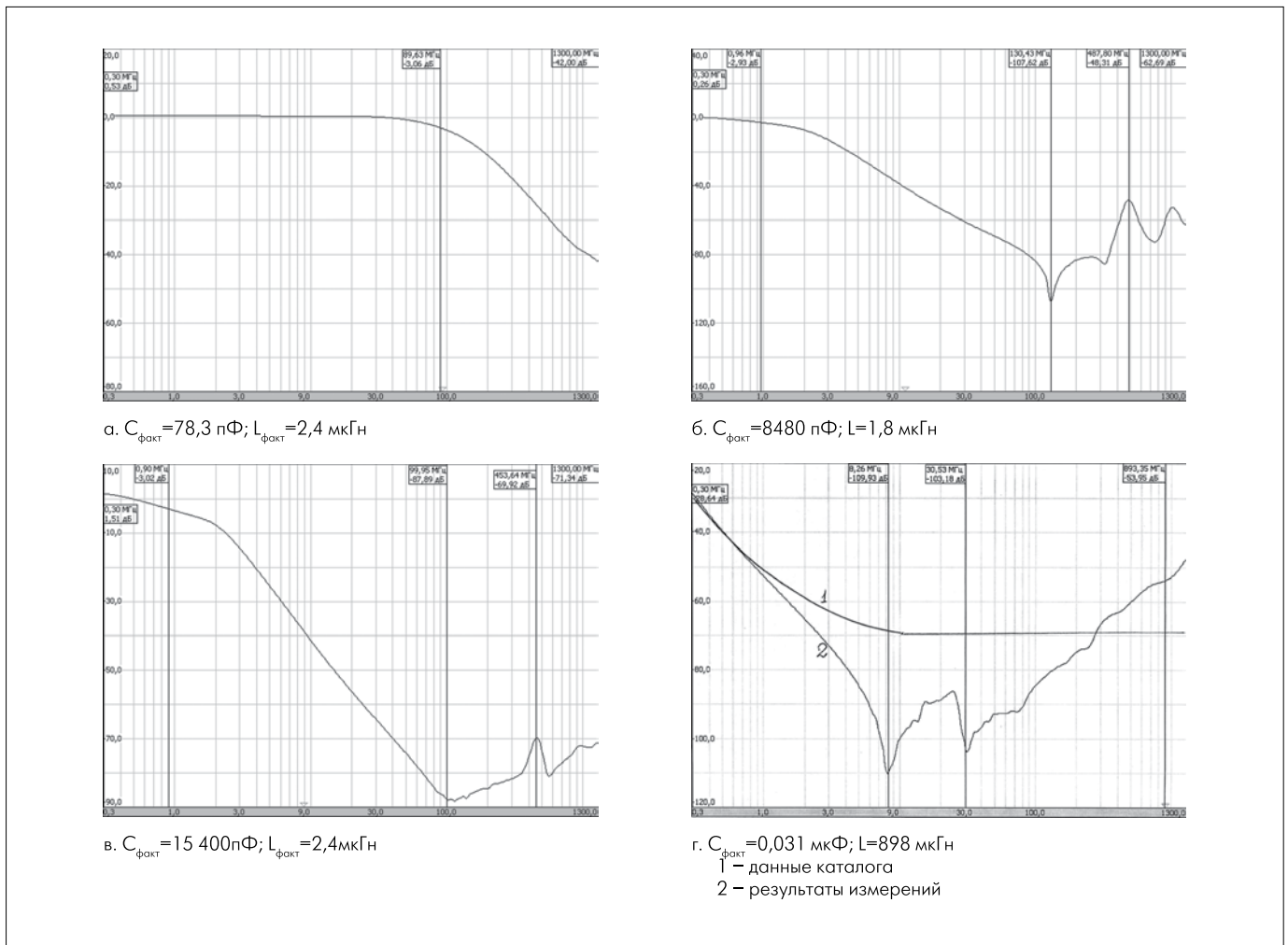


Рис.5. Зависимость вносимого затухания от частоты фильтров Б24 (а, б, в) различной емкости и LC-фильтров типа 9042-383 фирмы Erie (г) от частоты

частоты. Большое число частотных точек прибора, используемых для сканирования частотного диапазона, позволило выявить наличие резонансных пиков на кривых. При проводимых ранее измерениях вносимого затухания с помощью приборов SMV на фиксированных частотах такие пики, как правило, не обнаруживались из-за большого шага между частотами измерения. Приводимые в каталогах зарубежных фирм [2, 3, 8] такие зависимости, в основном, так же носят линейный характер. Для сравнения фактических данных с каталожными было измерено вносимое затухание фильтра типа 9042-383 фирмы Erie. Результаты представлены на рис.5,г. На полученных кривых имеются резонансные пики, а в каталоге приводятся усредненные данные. В справочных материалах на фильтры Б24 и другие разрабатываемые фильтры также приводятся усредненные данные, показывающие характер зависимости вносимого затухания от частоты (см. рис.5). При измерениях на фиксированных частотах 2,0; 3,2; 4,0; 8,0 и 10,0 ГГц на отдельных частотах наблюдались незначительные уменьшения вносимого затухания, но, в основном, оно несколько превышало или равнялось значениям, полученным на частоте 1,0 ГГц.

Продолжение следует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воловик М., Смирнов В. Керамические проходные конденсаторы и фильтры нижних частот. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №7, с 36–40.
2. EMI Filtering. Product Guide, каталог фирмы Spectrum Control inc, USA.
3. Filtres "EMI-RFI" Filters, каталог фирмы Eurofarad Франция.
4. Кечиев Л.Н., Бобков А.Л., Степанов П.В. Помехоподавляющие фильтры. Методы проектирования. – М., МИЭМ, 1999.
5. Джуринский К. Отечественные и зарубежные помехоподавляющие фильтры для микроэлектроники СВЧ, какие лучше? – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №1, с 42–45.
6. Пассивные помехоподавляющие фильтры и элементы. Методы измерения вносимого затухания. ГОСТ 13661-92. Комитет стандартизации и метрологии СССР, Москва.
7. Фильтры нижних частот Б24, Б24-1. Технические условия АЖЯР.431 145.003ТУ 2008.
8. Filters EMI-RFI, каталог фирмы Tusonix.