

Т.С. Хроленко, А.И. Тюменцев, И.В. Григорьева

ОАО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Особенности проектирования интегральных фильтров на основе жидкокристаллических полимеров

В работе рассматриваются вопросы реализации интегральных LC-фильтров на основе жидкокристаллических полимеров. Приведены экспериментальные результаты.

Ключевые слова: интегральный LC-фильтр, жидкокристаллические полимеры, LCP, АЧХ

Обоснование актуальности

В настоящее время электрические фильтры находят широкое применение в различной радиоэлектронной аппаратуре. Во всем разнообразии аналоговых фильтров особый интерес представляют LC-фильтры, что обусловлено возможностью их реализации в широком диапазоне частот, большим диапазоном реализуемых относительных полос пропускания, работой со сравнительно большими уровнями входного сигнала, а также тем, что такие фильтры достаточно просто обеспечивают заданную амплитудно-частотную характеристику, и, в сравнении с фильтрами на микрополосковых линиях (МПЛ), не имеют побочных полос пропускания.

Одной из тенденций развития таких фильтров является снижение их массогабаритных характеристик, повышение степени интеграции и расширение диапазона рабочих частот в сторону СВЧ, что требует применения новых технологий и материалов. Наиболее перспективными на сегодняшний день из всех известных конструкций фильтров СВЧ диапазона являются интегральные LC-фильтры, так как обладают малыми массогабаритными параметрами, достаточно высокими электрическими характеристиками и широким диапазоном рабочих частот.

На сегодняшний день известен целый ряд технологий, позволяющих реализовать интегральные фильтры [2, 3, 7]. При этом одним из наиболее интересных в этом плане материалов сейчас являются жидкокристаллические полимеры (LCP). Жидкокристаллические полимеры представляют собой высокомолекулярные соединения, обладают высокой стабильностью диэлектрической постоянной в широком диапазоне частот (до 40 ГГц), низким тангенсом угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta=0,0025$), а также очень малым процентом адсорбции ($<0,04\%$), что делает материал перспективным для применения в верхней части ВЧ диапазона. К тому же технология производства трехмерных модулей на основе LCP не требует закупки нового и нестандартного оборудования, а позволяет создавать многослойные устройства по обычной технологии производства печатных плат с тем отличием, что материалы, применяемые в качестве подложки и склеивающего слоя (препрега), являются высокотемпературными и требуют большей температуры прессования, чем стандартные текстолиты (280 – 315 С°). Если информация о проектировании и производстве интегральных фильтров на основе многослойных печатных плат (МПП), LTCC, сэндвич-технологии достаточно полно изложена как в зарубежной, так и в отечественной литературе, то проектирование таких устройств на основе LCP не достаточно отражено.

Основная тема исследования и методика исследования

Интегральные фильтры на основе LCP имеют особенности конструирования, основной из которых является ограниченное число по сравнению с интегральными фильтрами на основе LTCC не только схемно-технических решений, но и возможных конструкций элементов фильтров. При этом основными критериями выбора конструкций элементов фильтра являются:

1. Конструкция конденсаторов может иметь многослойную структуру со сквозными соединительными отверстиями.

2. Интегральные фильтры на основе LCP предусматривают использование конструкций катушек индуктивности, не содержащие «глухие» и «слепые» отверстия. Использование подобных отверстий в разных слоях усложняет конструкцию и делает изготовление в производственном цикле многослойных печатных плат невозможным.

3. Необходимо предусмотреть допуски на ширину проводниковых элементов конструкции так как технология производства МПП на основе LCP предусматривает изменение ширины проводящего рисунка в процессе травления, причем интервал разброса значений замеров увеличивается с увеличением толщины фольги. [4].

Так как из большого количества известных различных схем LC-фильтров, число подходящих для реализации в интегральном виде крайне ограничено, то на основании исследований элементной базы таких фильтров [1], сформулированы критерии выбора схемотехнических решений, пригодных для интегральной реализации, на основе которых проведен анализ реализуемости ряда схем [5, 6].

Пример анализа одной из таких схем, с полученными результатами представлен на Рис. 1, 2.

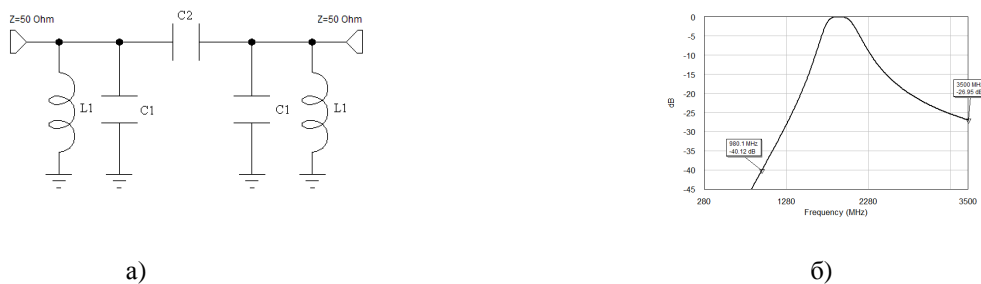
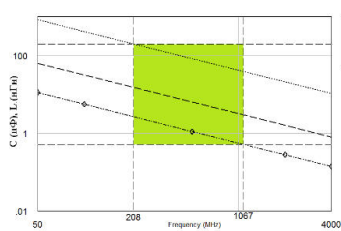


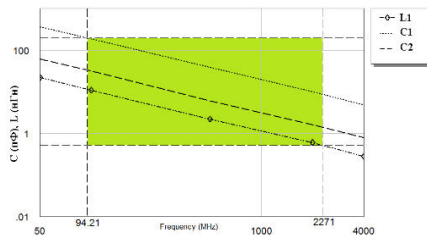
Рисунок 1

Используя полученные данные проведенных исследований элементной базы, схемотехнических решений, а также разработанные критерии отбора элементной базы интегральных фильтров на основе LCP были созданы рекомендации по созданию конструкций такого типа интегральных фильтров.

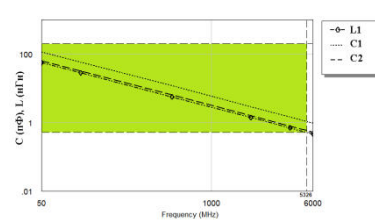
В Таблице 1 отражены полученные результаты для одной из исследованных схем. На основании разработанных рекомендаций разработчик интегральных фильтров может ускорить процесс проектирования, выбрав из таблицы для необходимой схемы с заданными частотами среза и полосой пропускания подходящие для выполнения требуемых параметров конструкции элементов.



а)



б)



в)

Рисунок 2

Таблица 1

Схема ПФ	f_0 , МГц	Δf , %	Конструкция катушки					Конструкция конденсатора					
			Плоская	Квадратная	Стеклянная квадратная	Отрезок прям. линии	Одновитковая	В-III	Прямоугольный	Треугольный	Круглый	Многоугольный	Параллелограмм
	50	50	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
	100	50	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
		100	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+
	500	10	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
		20	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
		50	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
	2000	100	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
		20	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	4000	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	5000	100	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	6000	100	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
		50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	7000	100	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
50		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
8000	100	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	
	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Апробация

Для подтверждения проведенных теоретических исследований были проведены экспериментальные исследования миниатюрных полосовых и фильтров нижних частот (ФНЧ), изготовленных с учетом сформулированных особенностей проектирования.

На основе результатов исследований, полученных в [1, 6], для реализации была выбрана схема (Рис. 3) фильтра нижних частот Баттерворта 5-го порядка с частотой среза 2400 МГц.

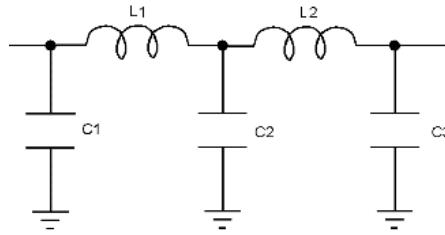


Рисунок 3

На Рис. 4а приведена топология, а на Рис. 4б показан внешний вид разработанного фильтра. АЧХ электромагнитной (ЭМ) модели и разработанного фильтра приведены на Рис. 4в. Размер фильтра составляет 15x10 мм.

Из представленных на Рис. 4в АЧХ видно, что экспериментальная характеристика точно повторяет расчетную, при этом неравномерность характеристики относительно затухания в полосе пропускания представленного фильтра около 0,5 дБ. Прямоугольность

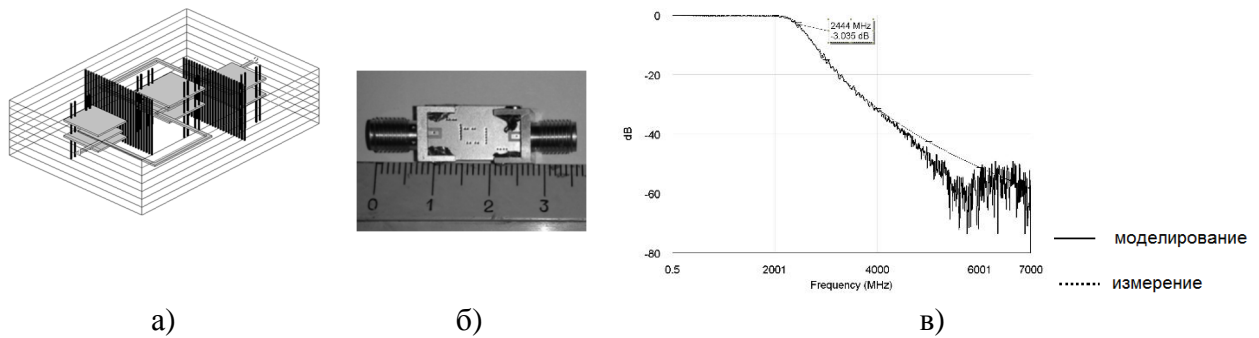


Рисунок 4

АЧХ разработанного фильтра увеличивается за счет полюса затухания на частоте 6000 МГц, что обосновано наличием собственных емкостей у катушек индуктивности.

Для реализации полосового фильтра (ПФ) была выбрана схема фильтра 3-го порядка, изображенная на Рис. 5 с центральной частотой 2900 МГц, полосой пропускания 20%, нагруженного на сопротивление 50 Ом.

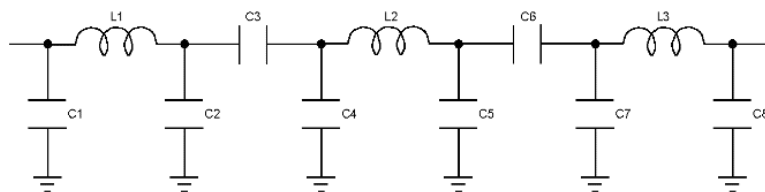


Рисунок 5

Топология полосового фильтра, его внешний вид и АЧХ ЭМ модели и рассчитанного ПФ представлены на Рис. 6. Размер экспериментального фильтра равен 10x28 мм.

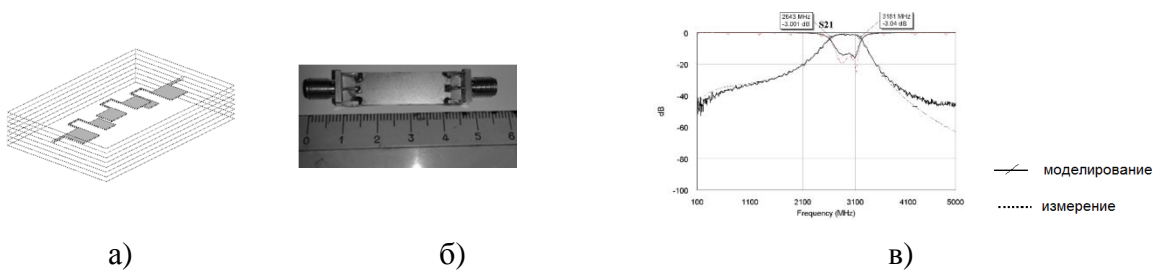


Рисунок 6

АЧХ экспериментального полосового фильтра в полосе пропускания полностью повторяет АЧХ ЭМ модели. Разработанный фильтр обладает следующими параметрами: вносимые потери в полосе пропускания не более 1 дБ, при полосе пропускания 15%, затухание в полосе задерживания не менее 40 дБ до 5 ГГц.

Экспериментальные результаты подтверждают достоверность проведенных исследований.

Выводы

Рассмотренные особенности проектирования интегральных фильтров, выполненных на основе LCP, позволили сформулировать рекомендации по их конструированию, что уменьшает время необходимое на разработку такого типа устройств. Исходя из сравнения расчетных и экспериментальных характеристик интегральных фильтров, выполненных на основе LCP, можно сделать вывод, что такие фильтры обладают высокими электрическими параметрами, позволяют работать в широком диапазоне частот (до 15000 МГц), что в большей степени обусловлено характеристиками используемых материалов.

Библиографический список

1. Борейко Д.А. Исследование параметров катушек индуктивности, выполненных по LTCC технологии [текст] / Д.А. Борейко, Т.С. Дьяченко, А.И. Тюменцев // Техника радиосвязи. – 2012. – Вып. 17. – С. 73 – 83.
2. Капитанова П.В. Исследование параметров пассивных СВЧ-компонентов, выполненных по многослойной интегральной технологии [текст] / П.В. Капитанова, А.В. Симин, Д.В. Холодняк // Труды высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2005. – Вып. 1. – С. 75–81.
3. Корж И.А. LC-фильтры на пленочных компонентах, встроенных в многослойные печатные платы [текст] / И. А. Корж, К.В. Николаенко, И.А. Тихонов, М.А. Евдокимов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2010. – Вып. 12. – С. 59–61.
4. Медведев А. Контроль печатных плат по признакам внешнего вида [текст] /А. Медведев// Технологии в электронной промышленности, 2005, Вып. 3 – С. 34–39
5. Тюменцев А.И. Улучшение параметров полосовых LC-фильтров путем преобразования мостовых звеньев в неуравновешенные лестничные: Дис. кан. тех. наук – Омск – 2013. – 165 с.
6. Хроленко Т.С. Интегральные фильтры ВЧ и СВЧ диапазонов на основе современных материалов: Дис. кан. тех. наук – Омск – 2013. – 175 с.
7. Dalmia S., Sundaram V., White G., Swaminathan M. Liquid crystalline polymer (LCP) based lumped-element bandpass filters for multiple wireless applications [текст] / S. Dalmia, V. Sundaram, G. White, M. Swaminathan// IEEE MTT-S Dig. – 2004. – June. – P. 1991–1994.