

# Высокочастотные и сверхвысокочастотные проволочные чип-индуктивности типов КИК, КИК1 и КИФ: параметры и применение

И. Белков, к. т. н.<sup>1</sup>, Ю. Еремеев<sup>2</sup>, И. Малышев, к. т. н.<sup>3</sup>

УДК 621.318.43 | ВАК 05.27.01

АО «НПО «ЭРКОН» – известный российский разработчик и производитель пассивных электронных компонентов. В статье описаны ключевые параметры проволочных ВЧ и СВЧ чип-индуктивностей производства компании, типовые области и устройства применения, представлены примеры моделирования в САПР с использованием предоставляемых моделей чип-индуктивностей.

АО «НПО «ЭРКОН» производит широкий размерный ряд высокочастотных и сверхвысокочастотных проволочных чип-индуктивностей с горизонтальной обмоткой – это катушки индуктивности типа КИК и КИК1 с немагнитным керамическим сердечником на основе алюмооксидной керамики и типа КИФ с магнитным сердечником на основе феррита. Поверхность чип-индуктивности покрыта полимерным материалом, который защищает и фиксирует обмотку, что обеспечивает высокую эксплуатационную стабильность параметров (рис. 1).

Поскольку сама катушка сформирована из более толстого провода, чем аналогичные проводниковые структуры в случае многослойных (LTCC) и пленочных индуктивностей, здесь достигаются следующие преимущества:

- низкое сопротивление постоянному току;
- высокое значение добротности;
- большее значение допустимого тока обмотки.

Чип-индуктивности выпускают пяти типоразмеров (табл. 1, рис. 2).

К основным электрическим параметрам чип-индуктивностей, характеризующим их функциональность,

относят номинальную индуктивность, добротность, собственную резонансную частоту, сопротивление обмотки постоянному току и допустимый ток обмотки [1]. Эти параметры определяются конструктивными данными чип-индуктивности: габаритами и формой сердечника, диаметром обмоточного провода, количеством витков и их взаимным расположением.

На рис. 3 показаны диапазоны номинальной индуктивности для чип-компонентов разных типоразмеров. Наиболее широким диапазоном обладают индуктивности типоразмера 0805.

Индуктивные компоненты в электрической цепи снижают скорость изменения тока импульсных всплесков, временно сохраняя энергию в магнитном поле

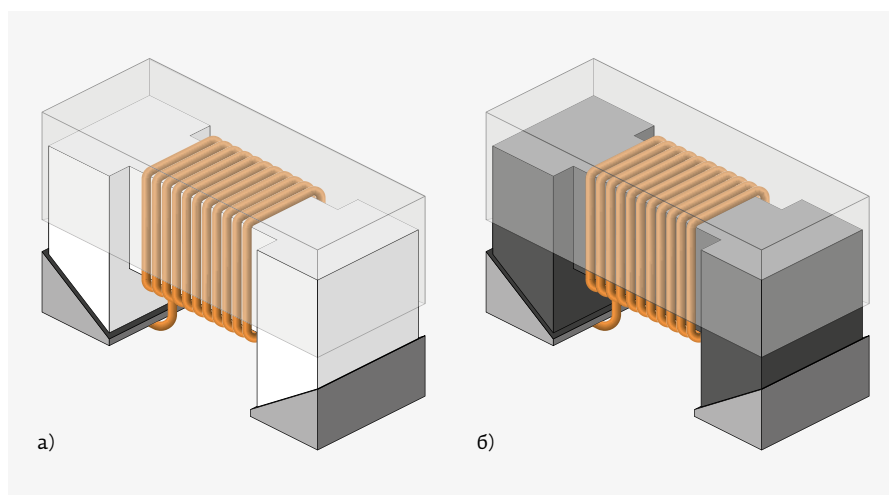


Рис. 1. Чип-индуктивности КИК, КИК1 (а) и КИФ (б)

<sup>1</sup> АО «НПО «ЭРКОН», заместитель руководителя группы разработок, belkov@erkon-nn.ru.

<sup>2</sup> АО «НПО «ЭРКОН», руководитель группы разработок, eremeev@erkon-nn.ru.

<sup>3</sup> АО «НПО «ЭРКОН», директор по развитию, min@erkon-nn.ru.

и возвращая ее затем в цепь. Они в основном используются в электрических и электронных устройствах для следующих целей:

- подавление, блокировка, ослабление или фильтрация высокочастотных шумов;
- хранение и передача энергии в преобразователях мощности (DC-DC или AC-DC);
- LC-цепи генераторов и фильтров;
- согласование ВЧ-устройств;
- цепи подачи питания постоянного тока на ВЧ- и СВЧ-устройства.

На рис. 4 показан пример схемы с моделью транзистора, согласованного по шуму с помощью индуктивностей.

Еще один важный параметр – добротность ( $Q$ ). Это диссипативная характеристика индуктивности, равная отношению индуктивного сопротивления катушки индуктивности к ее активному сопротивлению на данной частоте. Катушки с высокой добротностью пригодны для использования в узкополосных схемах. Проволочные чип-индуктивности стандартных миниатюрных типоразмеров от 0402 до 1206 отличаются высокой добротностью  $Q$  (рис. 5). Благодаря этой особенности они лучше аналогичных монолитных конструкций подходят для высокочастотных применений.

На рис. 6 наглядно показано влияние добротности чип-индуктивности на примере частотной зависимости коэффициента передачи идентичных полосовых фильтров. Величина потерь в полосе пропускания зависит

Таблица 1. Основные размеры индуктивностей КИК

Типоразмер, система метрическая (дюймовая)	Габаритные и установочные размеры, мм						
	L, max	B, max	H, max	D, max	C, max	Контактные площадки	
						C	F
1005 (0402)	1,19	0,70	0,62	0,35	0,70	0,51±0,05	0,21±0,05
1608 (0603)	1,83	1,25	1,0	0,55	1,02	0,76±0,05	0,33±0,05
2012 (0805)	2,29	1,73	1,63	0,85	1,35	1,27±0,05	0,44±0,07
2520 (1008)	2,80	2,65	1,90	0,95	1,64	2,03±0,05	0,51±0,07
3216 (1206)	3,68	2,26	1,62	0,86	2,28	1,56±0,05	0,51±0,07

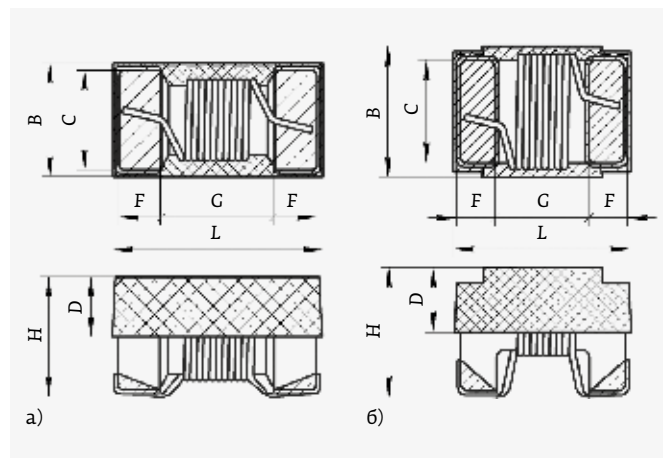


Рис. 2. Чип-индуктивности типоразмеров 0402 (а) и 0603, 0805, 1008, 1206 (б)

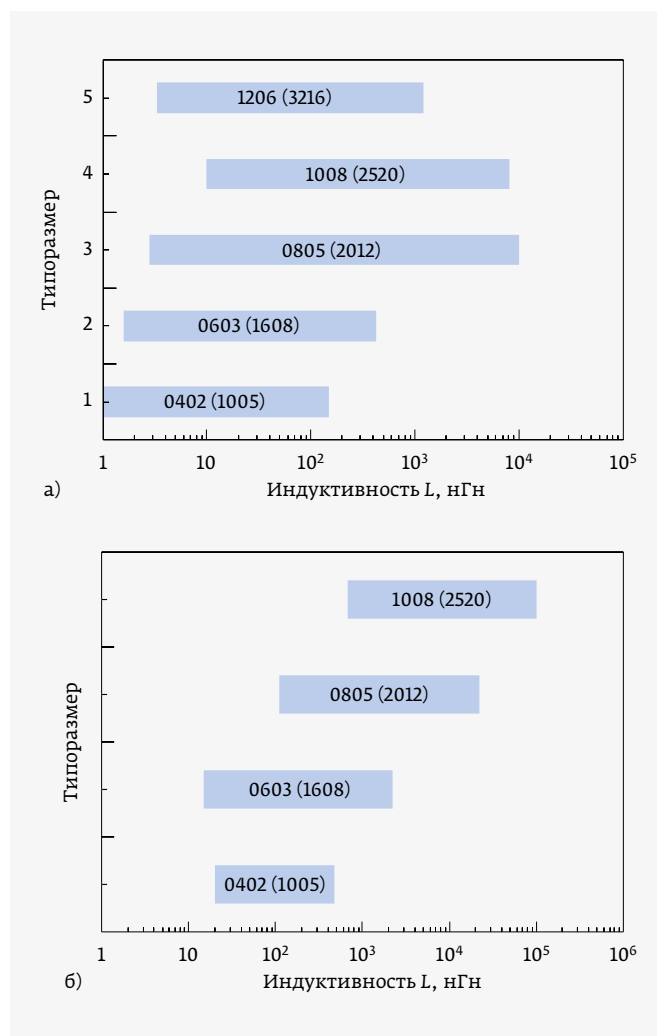
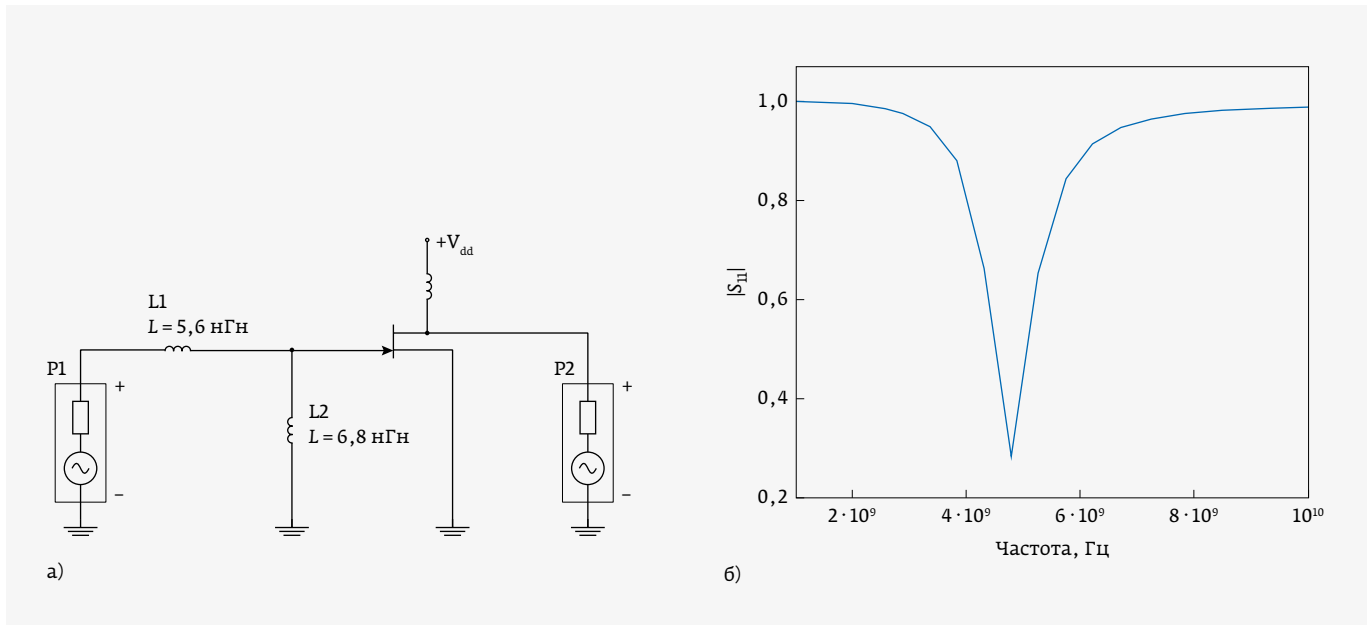


Рис. 3. Диапазоны номинальной индуктивности КИК1 (а) и КИФ (б) разных типоразмеров

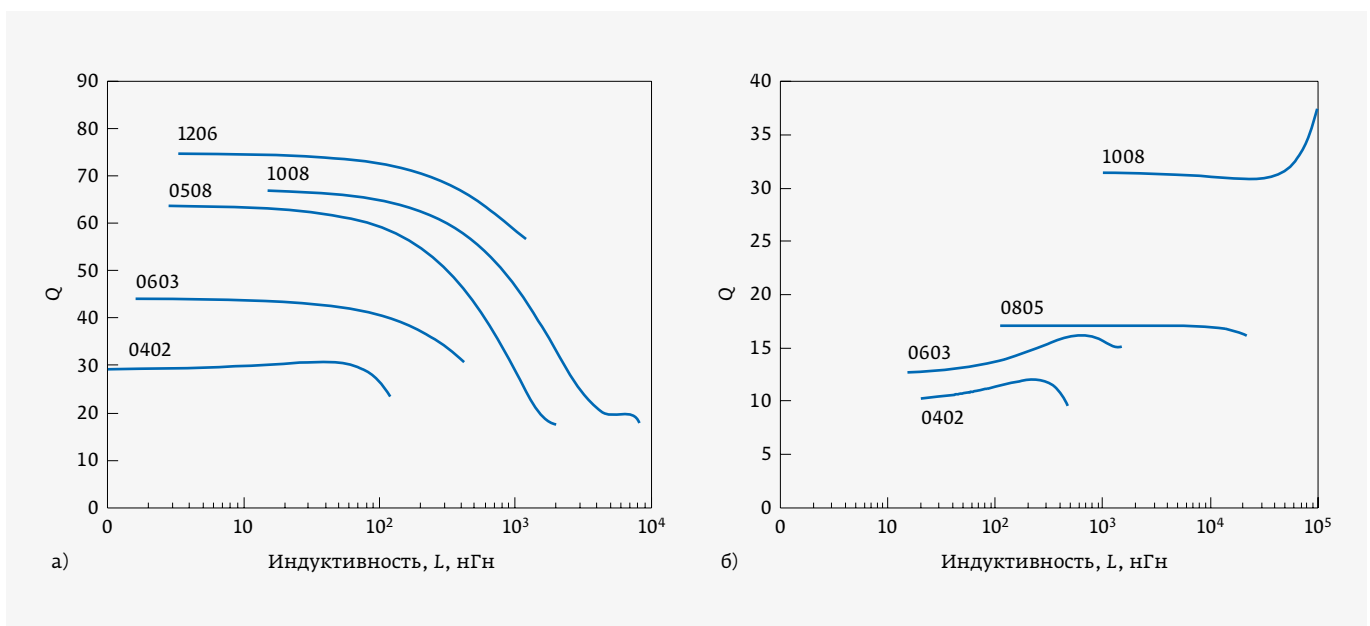


**Рис. 4.** Пример согласования с помощью индуктивностей (а) и соответствующий модуль коэффициента отражения (б)

лишь от добротности: чем выше добротность, тем меньше вносимое затухание.

Рабочий диапазон частот чип-индуктивностей определяют частотой собственного резонанса (SRF). Это частота резонанса параллельного электрического контура, образованного индуктивностью катушки и паразитной распределенной межвитковой емкостью. На частоте

резонанса импеданс катушки стремится к минимуму – активному сопротивлению катушки на данной частоте, равному сумме сопротивлений постоянному ( $R$ ) и переменному ( $R_c$ ) токам. С повышением частоты следует учитывать дополнительные паразитные активные и реактивные параметры – выше частоты резонанса импеданс катушки приобретает емкостный или более сложный



**Рис. 5.** Усредненная добротность чип-индуктивностей КИК1 (а) и КИФ (б) разных типоразмеров в диапазоне значений номинальной индуктивности

характер, и эквивалентная схема замещения заметно усложняется. Эффективный рабочий диапазон частот определяют в каждом случае индивидуально, но существует общее эмпирическое правило, ограничивающее предельную частоту применения значением, которое в 10 раз ниже резонансной частоты [1].

Используя при изготовлении чип-индуктивностей определенные правила и приемы намотки, резонансную частоту можно увеличить. На рис. 7 показаны измеренные характеристики индуктивности типоразмера 0603 с номинальным значением индуктивности 9,5 нГн без оптимизации конструкции по резонансной частоте и с оптимизацией, позволяющей значительно расширить рабочий диапазон частот.

На постоянном токе чип-индуктивность характеризуют максимальным сопротивлением обмотки постоянному току  $R$ , обуславливающим потерю мощности, и максимальным допустимым током обмотки ( $I_{\text{доп}}$ ). Перегрев катушки относительно окружающей среды определяется

протекающим через нее током. В общем случае при прочих равных условиях с повышением номинального значения индуктивности сопротивление увеличивается за счет большего количества витков и уменьшения диаметра провода обмотки. Допустимый ток при этом понижается,

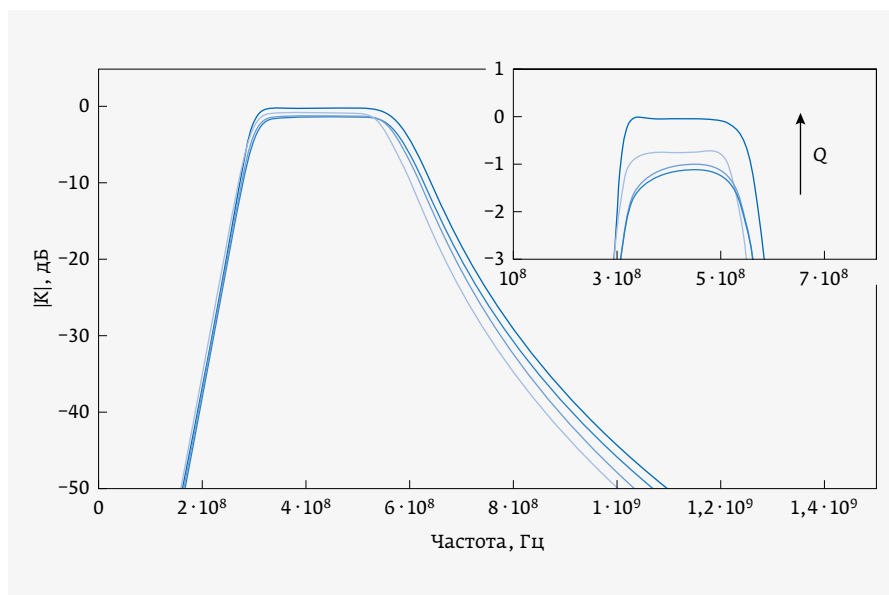


Рис. 6. Модуль коэффициента передачи модели фильтра



**Акционерное общество**  
**ЭРКОН**  
Научно-производственное объединение



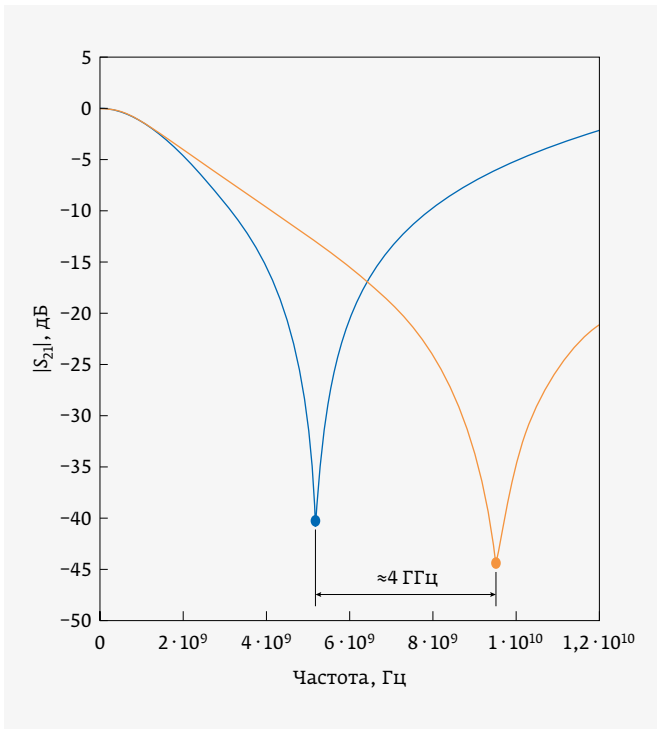
**ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ**

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю

**НОВИНКИ**

Аттенуаторы (поглотители) ПР1-25 500 Вт и 150 Вт (от 3 до 40 дБ)  
 Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 40 ГГц)  
 Мощные резисторы Р1-170 (от 10 до 1000 Вт)

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д. 6.  
 тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)  
 8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)  
 E-mail: info@erkon-nn.ru  
 www.erkon-nn.ru

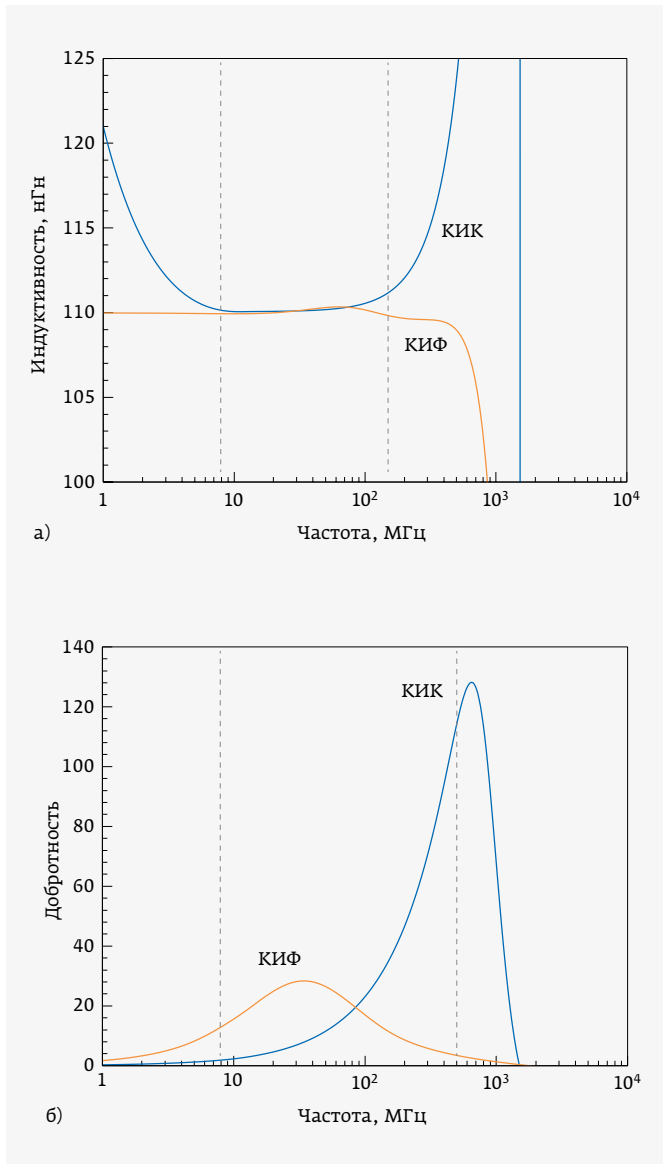


**Рис. 7.** Частотная зависимость  $|S_{21}|$  чип-индуктивностей КИК, 0603, 9,5 нГн с различной намоткой

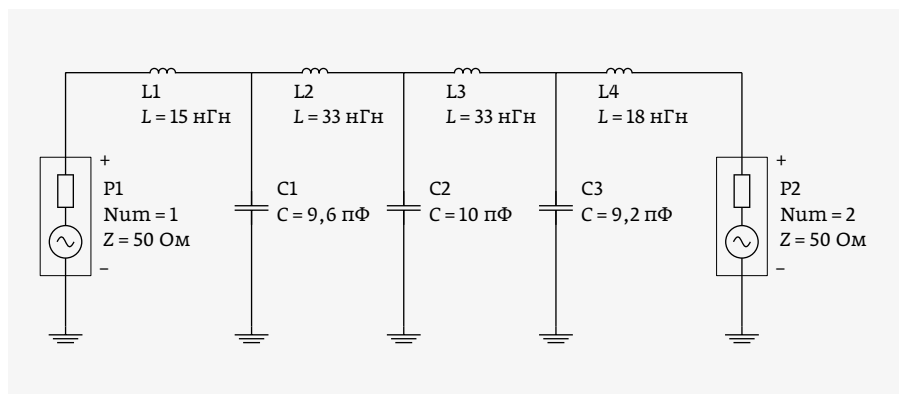
так как в активном сопротивлении выделяется тепловая мощность.

Следует отметить, что индуктивность и добротность являются частотнозависимыми характеристиками. Для идентификации и оценки параметров чип-индуктивностей производителям приходится указывать номинальные значения на конкретной частоте. Однако индуктивность или добротность катушки на рабочей частоте может значительно отличаться от нормируемого параметра [2]. На рис. 8 приведены частотные зависимости индуктивности и добротности для индуктивностей КИК и КИФ типоразмера 0805 и номинальной индуктивностью 110 нГн. Пунктирными линиями обозначены частотные точки контроля параметров. Таким образом, чип-индуктивности КИК и КИК1 целесообразнее использовать в более высоком диапазоне частот, а КИФ – в более низком.

АО «НПО «ЭРКОН» разрабатывает и размещает на официальном сайте электронные модели выпускаемых изделий для различных САПР. В том числе модели чип-индуктивностей, которые построены на базе знаний о конструкции и измеренных данных и содержат необходимую



**Рис. 8.** Частотные зависимости индуктивности и добротности для КИК и КИФ 0805, 110 нГн



**Рис. 9.** Модель ФНЧ, выполненная в симуляторе электронных цепей QUCS

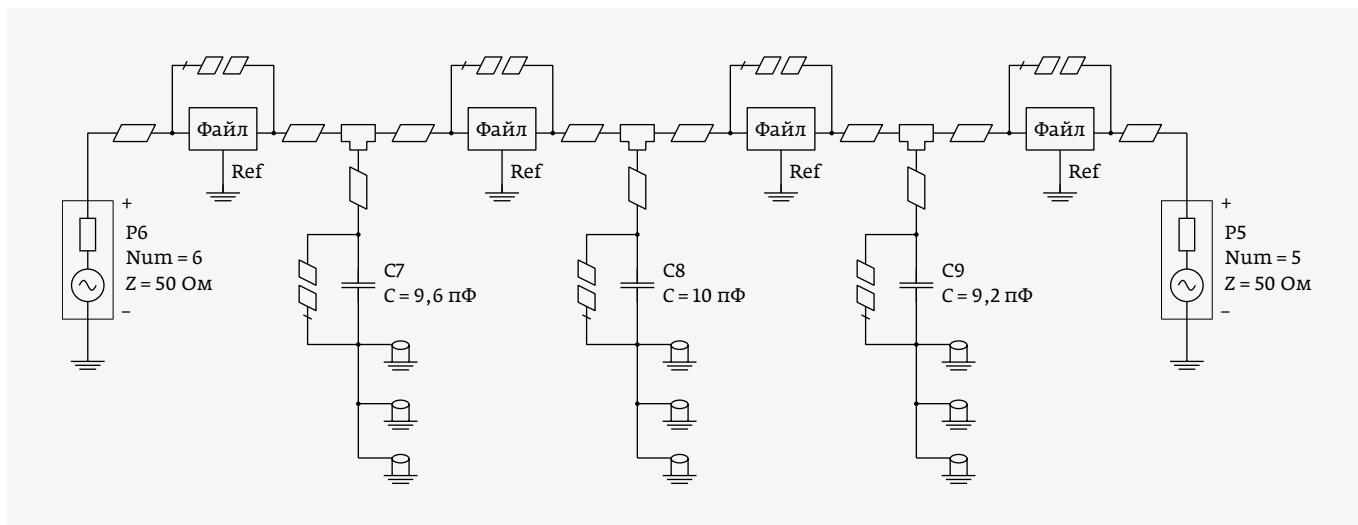


Рис. 10. Модель ФНЧ с моделями чип-индуктивностей и топологической структурой

информацию для оценки параметров в рабочем диапазоне частот [3].

В качестве примера использования моделей на рис. 9 и 10 представлены схемы одного и того же фильтра нижних частот. В первом случае использованы идеальные элементы, а во втором – модели чип-индуктивностей КИК 0805 и топологические неоднородности печатной платы. На рис. 11 сопоставлены частотные характеристики идеального фильтра с характеристиками того же фильтра при замене идеальных элементов моделями чип-индуктивностей КИК 0805, а также показана характеристика

с учетом влияния топологических неоднородностей. Если первые две характеристики достаточно схожи, то уточненная третья, полученная с учетом моделей, учитывающих топологические неоднородности, отличается от первых и на практике использование данных моделей при проектировании может упростить процесс регулировки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подбор компонентов при разработке аппаратуры на первой стадии требует начальных представлений о характеристиках, их взаимосвязи и влиянии на параметры устройств. Затем необходимы электронные модели компонентов для моделирования характеристик устройств в САПР. АО «НПО «ЭРКОН» предлагает широкую номенклатуру проволочных чип-индуктивностей и соответствующих электронных моделей. С номенклатурой чип-индуктивностей и других изделий компании, а также электронных моделей к ним можно ознакомиться на официальном сайте [www.erkon-nn.ru](http://www.erkon-nn.ru).

## ЛИТЕРАТУРА

1. CoilCraft. Key Parameters for Selecting RF Inductors. [https://www.coilcraft.com/getmedia/42895920-090c-47c1-b3d0-03b0cd30d429/doc671\\_selecting\\_rf\\_inductors.pdf](https://www.coilcraft.com/getmedia/42895920-090c-47c1-b3d0-03b0cd30d429/doc671_selecting_rf_inductors.pdf) (дата обращения: 18.10.2021).
2. Гуров Е. В., Увайсов С. У., Увайсова А. С., Увайсова С. С. Номинальные и эффективные значения параметров катушек индуктивности и конденсаторов на высоких частотах – Текст электронный // Russian Technological Journal. 2019; 7(4): 44–53. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-4-44-53> (дата обращения: 18.10.2021)
3. ЭРКОН. Чип-индуктивности. <https://www.erkon-nn.ru/catalog/chip-induktivnosti/> (дата обращения: 18.10.2021)

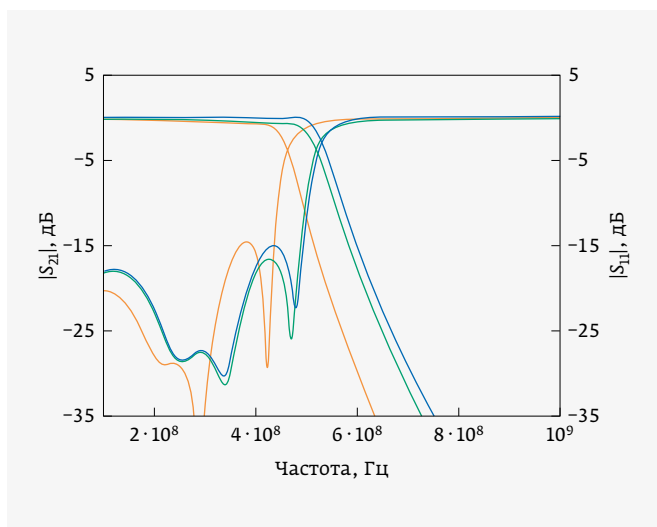


Рис. 11. Частотные характеристики ФНЧ:

- с идеализированными моделями;
- с моделями индуктивностей КИК 0805;
- с дополнительным учетом влияния топологии печатной платы