

## **Улучшение параметров элементной базы в интегральном исполнении**

*Произведен поиск путей улучшения параметров элементной базы на основе ЭСП (элементов с сосредоточенными параметрами), среди рассматриваемой элементной базы представлены интегральные многослойные емкости и индуктивности. Улучшение параметров достигается за счет применения оригинальных конструкций элементов, полученных на основе последовательного анализа зависимости электрических параметров от конструктивных.*

**Ключевые слова:** многослойные интегральные структуры, элементная база

Интегральные многослойные структуры обладают целым рядом преимуществ при проектировании радиоэлектронных устройств, что обуславливает важность их изучения. Среди достоинств можно выделить такие, как уменьшение влияния паразитных параметров, достижение малых массогабаритных характеристик, а также возможность отказа от корпусирования устройств за счет использования металлизации внешних поверхностей [1]. Среди наиболее распространенной элементной базы указанных устройств можно назвать емкости и индуктивности. Стоит отметить, что вариантов конструкций многослойных интегральных емкостей и индуктивностей существует большое количество [2], [3]. Однако конкретные рекомендации по выбору той или иной конструкции отсутствуют. Также не проводился системный анализ зависимости электрических параметров данных элементов от отдельных конструктивных характеристик. Такая ситуация приводит к тому, что проектировщики вынуждены каждый раз проводить трудоемкий процесс подбора конструкции элемента, который занимает большое количество времени.

В данной работе произведена попытка последовательного анализа зависимости электрических параметров элементов от характеристик их конструкции с целью выявления конкретных закономерностей, а также получения оригинальных конструкций с минимальным влиянием паразитных параметров. Так как подобные попытки уже предпринимались в работе [4], то за основу брались наиболее удачные с точки зрения сочетания электрических и конструктивных параметров конструкции, представленные в данной работе. При проведении последовательного анализа брались во внимание такие способы улучшения параметров, как ослабление паразитных параметров, учет геометрических особенностей топологии слоев, а также увеличение емкости за счет изменения конструкции.

Для интегральных емкостей основой для исследования была взята конструкция в виде плоскопараллельного многослойного конденсатора с обкладками прямоугольной формы, представляющая собой обкладки конденсатора, которые разнесены по слоям и электрически соединены посредством межслойных переходов, вынесенных за пределы обкладок. Данные переходы соединяются с обкладками при помощи подводящих проводников. Форма и размер этих проводников напрямую влияют на значение параметра паразитной индуктивности. Проведенные нами исследования, показали целесообразность использования таких подводящих проводников, которым соответствует максимальная ширина при минимальной

длине. Полученные данные показывают, что применение данной конфигурации проводников позволяет увеличить диапазон рабочих частот до 18% и улучшить добротности на величину до 30 ед. На рисунке 1а представлены конструкции конденсаторов с различной шириной подводящих проводников. На рисунках 1б и 1в - зависимость емкости от частоты и добротность соответственно для конденсатора 100 пФ. Пунктирной линией обозначен вариант с самой маленькой шириной подводящего проводника, штриховой – со средней, сплошной – с максимальной.

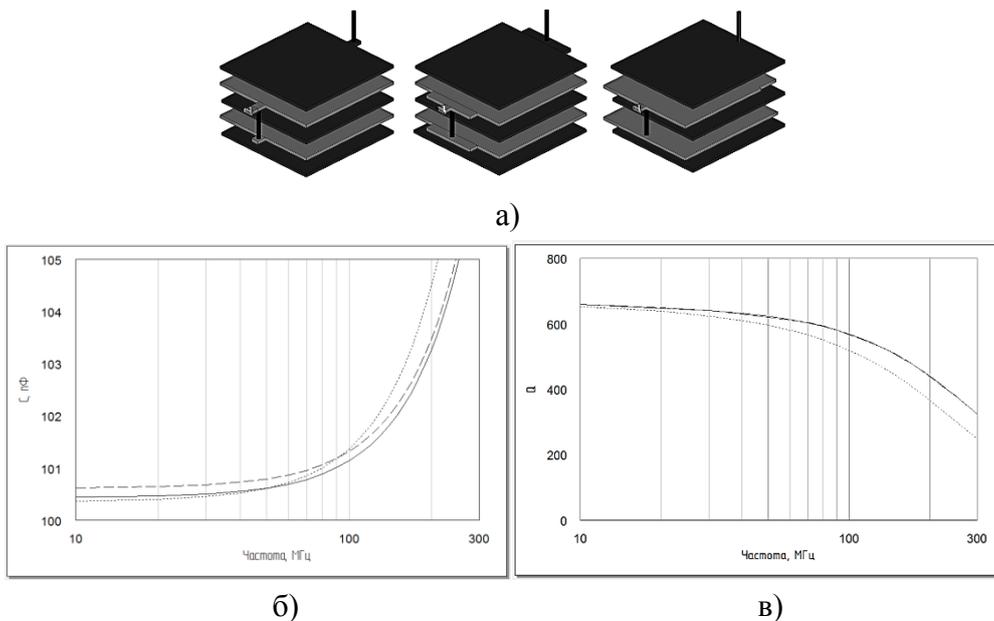
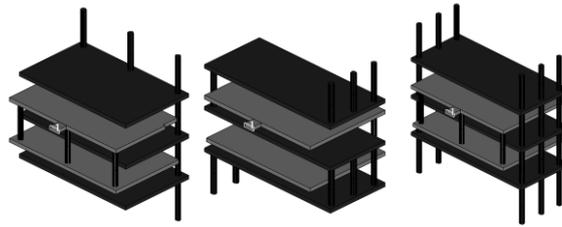
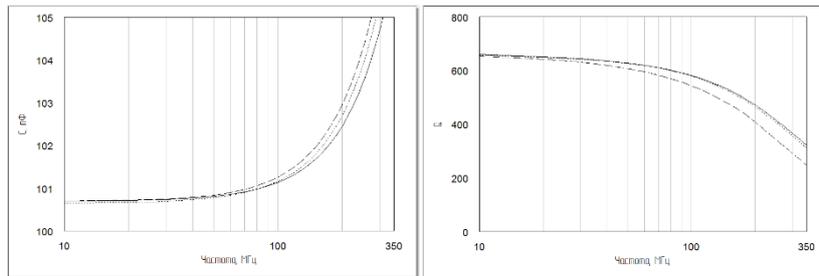


Рисунок 1.

Далее были проанализированы возможности для увеличения емкости за счет изменения конструкции, среди которых, размещение нескольких отверстий в пределах одного подводящего проводника, а также дублирование подводящего проводника с противоположной стороны обкладки. Эти способы соответствуют увеличению краевой емкости конденсатора за счет возникновения дополнительных электромагнитных связей. Как показывают полученные данные, наиболее удачными параметрами обладают конструкции с тремя переходными отверстиями для одного подводящего проводника с расположением подводящих проводников с обеих сторон каждой обкладки. Это позволяет расширить диапазон рабочих частот до 25% и повысить добротность на величину до 30 ед. На рисунке 2а представлены конструкции с различным расположением подводящих проводников. На рисунках 2б и 2в - зависимость емкости от частоты и добротность соответственно для конденсатора 100 пФ. Пунктирной линией обозначен крайний левый вариант на рисунке 2а, штриховой – средней, сплошной – крайний правый.



а)



б)

в)

Рисунок 2.

Также были изучены зависимости электрических характеристик указанных конструкций конденсаторов от диаметра переходных отверстий и от толщины диэлектрических слоев. Данное исследование показало, что значимое влияние оказывает толщина диэлектрических слоев, при этом ее целесообразно максимально уменьшать.

На рисунке 3 показаны границы рабочих диапазонов рассматриваемых конструкций конденсаторов.

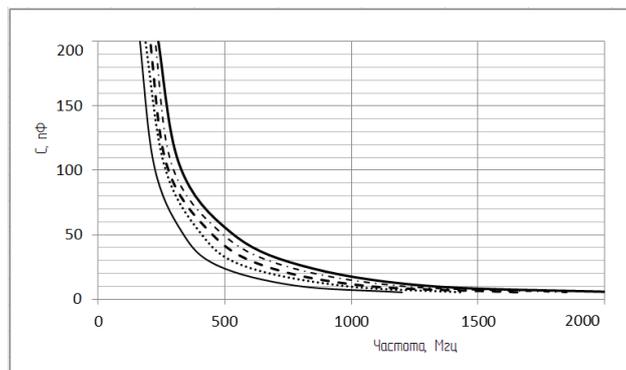


Рисунок 3.

Здесь тонкой линией показана граница рабочего диапазона для конструкций с минимальной шириной подводящих проводников, пунктирной - с шириной подводящих проводников, равной ширине обкладки, штриховой - с коэффициентом прямоугольности 2 для области перекрытия обкладок, штрихпунктирной - с 3 переходными отверстиями для подводящих проводников, толстой - с подводящими проводниками с обеих сторон обкладки. Данный рисунок является наглядным отображением результатов последовательного анализа параметров емкостей.

Для интегральных индуктивностей за основу была выбрана конструкция, приведенная в [4] и [5], в виде 3D П-образной сужающейся спирали, представляющая собой трехмерную спираль из П-образных сегментов, размещенных на разных слоях и соединенных межслойными переходами, при этом площадь сегментов монотонно уменьшается от слоя к слою. Для описанной конструкции отсутствуют исследования влияния коэффициента перекрытия витков на разных слоях на электрические параметры индуктивности. Стоит отметить, что влияние такого параметра аналитически оценить сложно, так как, с одной стороны, большее перекрытие витков способствует образованию большей паразитной емкости, а с другой стороны – появлению большей взаимной индуктивности с положительным эффектом, что связано с сонаправленным течением тока в них.

Перечисленные обстоятельства показывают необходимость проведения соответствующего исследования, которое и было нами осуществлено. Как показывают полученные данные, лучшим сочетанием электрических и конструктивных параметров обладает конструкция с полным перекрытием витков на разных слоях, которой соответствует сохранение постоянной величины площади каждого витка. Такая конструкция позволяет расширить диапазон рабочих частот до 12%, добротность при этом в общем случае изменяется незначительно.

На рисунке 4а представлены конструкции с различным коэффициентом перекрытия витков. На рисунках 4б и 4в - зависимость индуктивности от частоты и добротность соответственно для индуктивности 100 нГн. Штрихпунктирной линией обозначен крайний левый вариант на рисунке 4а, штриховой – средней, сплошной – крайний правый.

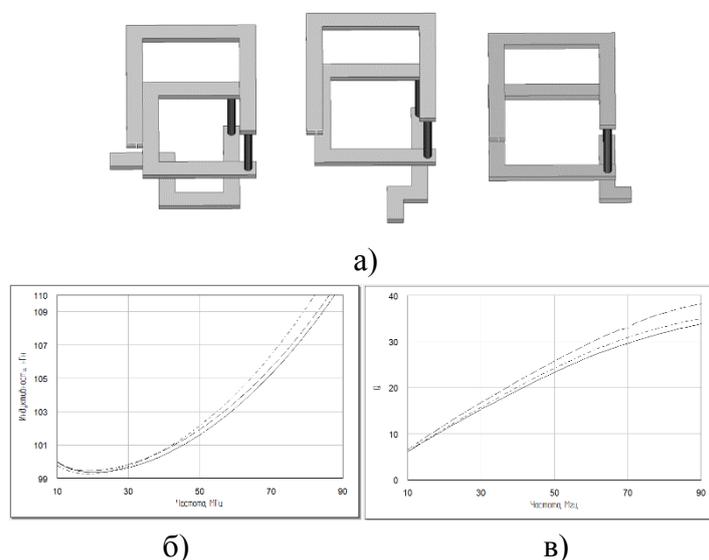


Рисунок 4.

Дополнительным преимуществами представленной конструкции является меньшее время моделирования (до 5-6 раз) за счет снижения общей площади металлизации, более простая отрисовка и корректировка топологии слоя, в том числе и для случаев масштабирования и изменения соотношения сторон витка. На рисунке 5 показано изменение границы рабочего диапазона индуктивностей за счет использования указанной конструкции.

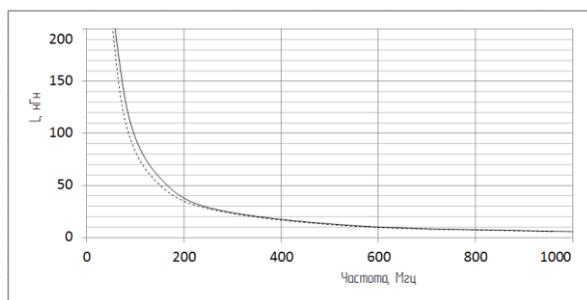


Рисунок 5.

Здесь штриховой линией показана граница рабочего диапазона для конструкций 3D П-образной индуктивности без перекрытия витков на разных слоях, а сплошной – для конструкций с полным перекрытием на разных слоях с постоянной площадью витков.

Аналогично рассматриваемым выше конденсаторам, проводилось исследование влияния коэффициента прямоугольности П-образных сегментов на электрические параметры индуктивности, которое показало, что увеличение указанного коэффициента соответствует незначительному сужению рабочего диапазона частот. Таким образом, подобная трансформация топологии слоев применима в том случае, когда она помогает уменьшить общую площадь радиоэлектронного устройства.

На рисунке 5а представлены конструкции с различным коэффициентом прямоугольности витков. На рисунках 5б и 5в - зависимость индуктивности от частоты и добротность соответственно для индуктивности 100 нГн. Штрихпунктирной линией обозначен крайний левый вариант на рисунке 5а, штриховой – средней, сплошной – крайний правый.

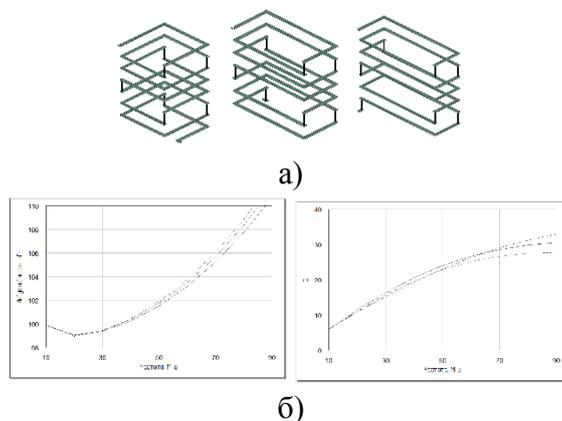


Рисунок 6.

#### Библиографический список

1. Милованов, О. С. Техника сверхвысоких частот: учеб. пособие для ВУЗов / О. С. Милованов, Н. П. Собенин. – М.: Атомиздат. – 1980. – 464 с.
2. Вендик И.Б. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига [текст] / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк, А. В. Симин // Компоненты и технологии. - 2005, Вып. 5. – С. 190 – 196.
3. Bahl Inder. Lumped Elements for RF and Microwave Circuits [текст] / Inder Bahl// Artech House. - 2003. – 488 p.
4. Хроленко, Т. С. Интегральные LC-фильтры ВЧ и СВЧ диапазонов на основе современных материалов: дис. ... канд. тех. наук / Т. С. Хроленко. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 173 с.
5. Борейко, Д. А. Исследование параметров катушек индуктивности, выполненных по LTCC технологии / Д. А. Борейко, Т. С. Дьяченко, А. И. Тюменцев // Техника радиосвязи. – 2012. – Вып. 17. – С. 73–83.