

ОДНОМЕРНЫЙ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫЙ RC-ЭРП: МОДЕЛЬ, АНАЛИЗ

Мокляков В. А.

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева

Тел: 8(831)-439-68-74. E-mail: vitmokl@pochta.ru

Аннотация. Представлен анализ методов реализации фрактальных элементов с помощью RC-элемента с распределенными параметрами. Показана возможность увеличения ширины частотного диапазона, в котором сохраняется постоянство фазы входного сопротивления элемента.

Ключевые слова: распространение сигнала, фрактальный элемент, оператор интегрирования, оператор дифференцирования, система с распределенными параметрами.

Практическая реализация фрактальных элементов способных в реальном времени выполнять дробные операторы, а также устройств и систем на их основе может быть ускорена, в частности, путем физического моделирования операторов дробного интегрирования и дифференцирования.

Основными требованиями, предъявляемыми к фрактальным элементам, является возможность получения входного импеданса вида (1) с любым значением показателя α ($0 < \alpha < 1$) в максимально широком диапазоне частот. Существующие и исследованные варианты RC-ЭРП не в полной мере обеспечивают эти требования.

$$Z_F(p) = \frac{|Z_c|}{(\tau p)^\alpha} \quad (1)$$

В наибольшей степени для выполнения этих требований соответствуют элементы, выполненные на основе многослойной резистивно-емкостной среды формируемой с помощью известных методов пленочной технологии.

Одним из конструктивных вариантов фрактальных элементов на этой основе выбран одномерный структурно-неоднородный RC-элемент с распределенными параметрами (ОСН RC-ЭРП). Такая основа потенциально позволяет создавать различного рода неоднородности на пути распространения сигнала, за счет чего можно обеспечить реализацию заданных параметров фрактальных элементов, так как только за счет изменения структуры слоев, возможно получить более 400 конструктивных вариантов резистивно-емкостного распределенного элемента.

Для анализа ОСН RC-ЭРП предложено использовать метод обобщенных конечных распределенных элементов (МОКРЭ).

Показано, что предложенный конструктивный вариант фрактального элемента имеет несравненно больше конструктивных параметров, чем известные RC-ЭРП, к которым добавляются схемотехнические параметры и разнообразные сочетания структурных неоднородностей. В этих условиях задачу синтеза фрактальных элементов по заданным параметрам его фрактального импеданса можно решить лишь с помощью генетических алгоритмов поисковой оптимизации. Однако существующие алгоритмы и программы не учитывают конструктивно-технологические особенности, которые возникают в ОСН RC-ЭРП. Без такого учета характеристики изготовленных по результатам синтеза фрактальных элементов могут существенно отличаться от заданных.

Показано, что с ростом числа участков, следовательно, и структурных неоднородностей ОСН RC-ЭРП, увеличивается ширина частотного диапазона, в котором сохраняется постоянство фазы входного сопротивления элемента. Такого большого

частотного диапазона постоянства фазы как (при $n = 4$) в известных нам источниках не отмечено.

Кроме возможности изменения характеристик ОСН РС-ЭРП за счет сочетания КРЭ с различными структурами слоев (*структурные факторы*) предусмотрены и другие возможности, в частности: изменение параметров слоев на каждом из выделенных участков (*параметрические факторы*); изменение размеров каждого из этих участков при сохранении неизменной общей длины ОСН РС-ЭРП (*конструктивные факторы*); изменение схемы коммутации между соседними КРЭ и схемы включения ОСН РС-ЭРП во внешнюю цепь (*схемотехнические факторы*).

В совокупности все перечисленные выше факторы полно и однозначно описывают конструкцию ОСН РС-ЭРП и представляют множество Ψ вида:

$$\Psi = P \cup C \cup S,$$

где P – множество параметрических и конструктивных факторов; C – множество схемотехнических факторов; S – множество допустимых структур слоев КРЭ, определяемых допустимым набором четырехпозиционных троичных кодов.

В свою очередь множество P определяется как

$$P = N \cup M \cup K \cup L,$$

где множества N , M и K включают допустимые значения коэффициентов N , M и K модели ОКРЭ, а множество L включает относительные размеры участков структурных неоднородностей ОСН РС-ЭРП.

Множество C определяется выражением

$$C = E \cup A \cup B,$$

где множество E включает допустимые схемы соединений смежных КРЭ между собой, множество A – номера заземленных узлов в схемах соединений смежных КРЭ, B – допустимые схемы включений ОСН РС-ЭРП во внешнюю цепь.

При определении множества допустимых схем соединений E исходили из того, что коммутация соседних КРЭ между собой будет осуществляться последовательным нанесением слоев материалов через трафареты в процессе формирования пленочной структуры слоев вида NR-G1-C-R-MC-G2-KR без дополнительных короткозамыкающих перемычек.

Исходя из этого, были проанализированы все возможные варианты схем соединений смежных КРЭ между собой и отобраны только те, которые удовлетворяют следующим условиям: отсутствие коммутации через резистивный слой, отсутствие шунтирования всех трех резистивных слоев и отсутствие одновременно трех входных или трех выходных «плавающих» полюсов. Все элементы множества E , удовлетворяющие названным условиям, число которых получилось равным 35, были занесены в таблицу с 7-ю строками и пятью столбцами.

Математическое описание каждого из вариантов соединений смежных КРЭ $E(i, j)$ определялось матрицей инцидентий $A(i, j)$ (где i и j – соответственно номер строки и столбца, на пересечении которых находится рассматриваемая ячейка таблицы).

Алгоритм анализа ОСН РС-ЭРП включает в себя следующие этапы: 1) формирование глобальной матрицы u -параметров, порядок которой определяется числом нескоммутированных полюсов КРЭ, на которые предварительно разбивается ОСН РС-ЭРП; 2) уменьшение порядка матрицы за счет объединения внутренних узлов схемы замещения ОСН РС-ЭРП, используя матрицы инцидентий, соответствующих выбранным схемам соединений смежных КРЭ; 3) исключение внутренних узлов схемы замещения; 4) вычисление схемной функции (входного импеданса или коэффициента передачи) в соответствии с выбранной схемой включения внешних выводов ОСН РС-ЭРП.

На различных примерах анализа ОСН РС-ЭРП с различными структурными неоднородностями была показана эффективность разработанных программ анализа для исследования характеристик фрактальных элементов с целью определения их

реализационных возможностей и пополнения базы данных, необходимых для синтеза фрактальных элементов на основе ОСН РС-ЭРП.

Хорошее совпадение частотных характеристик известных РС-ЭРП с частотными характеристиками, полученными с помощью разработанных программ анализа, доказывает достоверность результатов их работы. Достоверность результатов анализа ОСН РС-ЭРП с неисследованными ранее структурными неоднородностями подтверждена схемотехническим моделированием, используя многозвенные (с числом звеньев более 200) модели созданные в программе SwitchCAD.