

К вопросу свойств кольцевого эллиптического резонатора с линейным изменением волнового сопротивления

Е.Ф. Иванищева, Э.Ю. Седышев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: В работе рассматриваются свойства регулярного и нерегулярного кольцевого эллиптического резонатора (КЭР) с линейным изменением волнового сопротивления, предложены эквивалентные схемы, метод моделирования нерегулярной структуры КЭРа в программе на ядре NEC. Оценено влияние питания нерегулярных структур. Созданы макеты, исследованы: возможность возбуждения КЭРа при помощи гальванического контакта, оценена взаимность структуры.

Ключевые слова: СВЧ, КЭР, нерегулярные линии

1. Введение

Современные тенденции микроволновой электроники на сегодняшний день направлены на уменьшение технологических процессов без понижения качества характеристик создаваемых устройств, а также на уменьшение габаритных размеров конечного изделия. Так, для реализации многих устройств СВЧ диапазона, разработчики все чаще прибегают к интегральным технологиям.

Следует отметить растущий интерес к кольцевым эллиптическим структурам, потому как их свойства до конца не изучены, модификации внешнего вида приводят к новым частотным характеристикам, а способ питания КЭРа на сегодняшний день ставится первоочередной, сложной научно-технической задачей.

В работе рассмотрен простейший способ питания КЭРа – гальваническим контактом. Проведена декомпозиция резонатора и расчет матричным методом частотных характеристик устройства в программе RFSim99, создана электродинамическая модель в ядре NEC, произведено сравнение и сделаны выводы о работе моделей. Изучены свойства нерегулярного КЭРа при включении параллельно основному эйконалу, произведен анализ кольцевого эллиптического резонатора для S-диапазона на панорамном измерителе ослабления и КСВН.

1. Декомпозиция и матричный расчет в программе RFSim99

Первым этапом сравним свойства регулярного и нерегулярного КЭРа с одинаковым типом питания – гальваническим контактом, для этого необходимо произвести декомпозицию резонатора на отрезки линий, что позволит рассчитать структуру матричным методом в программе RFSim99.

К исследованию представлены макеты на подложке с диэлектрической проницаемостью 2.8, толщина подложки 0.38 мм (Рисунок 1).

На рисунке 1 представлены исследуемые макеты.

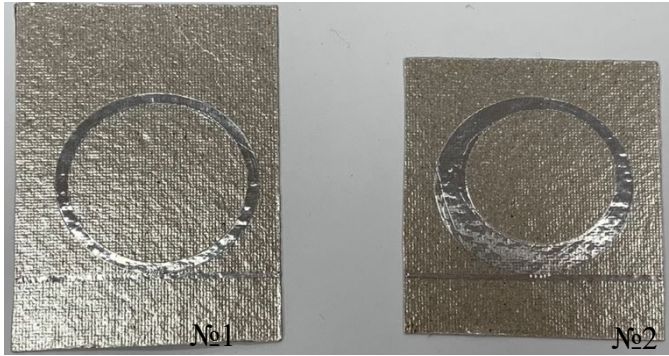


Рисунок 1. Исследуемые макеты

Для макета № 1:

- Внешний диаметр 39.2 мм
- Внутренний диаметр 34.2 мм
- Ширина полоска кольцевого резонатора 2.5 мм

Для макета №2:

- Внешний диаметр 39.5 мм
- Внутренний диаметр 29.6 мм

Для расчета геометрии регулярной структуры не требуется специальных расчетов, схема и результат эмуляции представлены на рисунке 2.

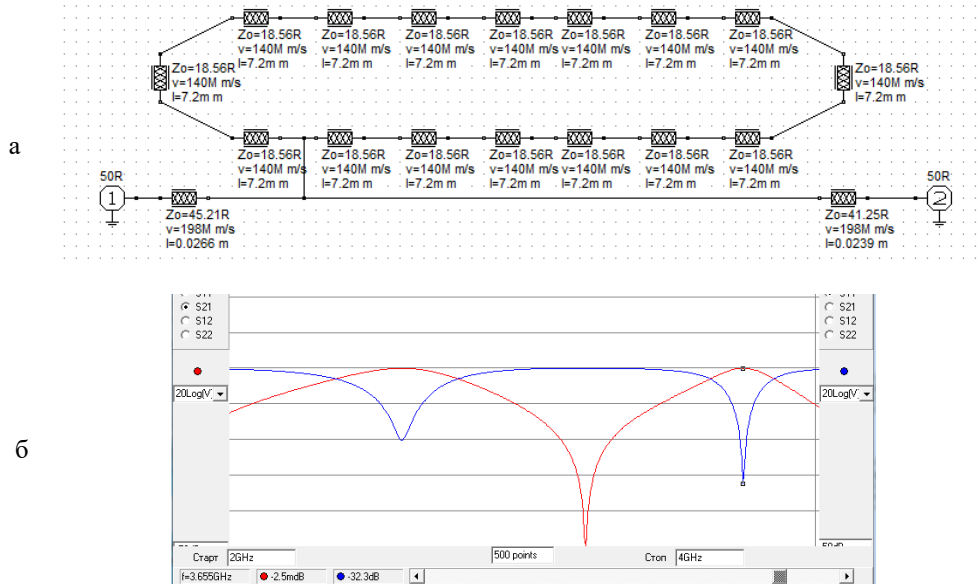


Рисунок 2. а – схема регулярного кольца, б – результат эмуляции

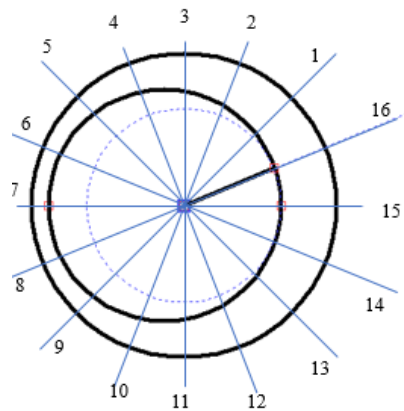


Рисунок 3. Построение векторов в САПР

Для расчета геометрии нерегулярного кольца создадим компьютерную модель при помощи САПРа T-FLEX. Зная минимальную и максимальную ширину полоска нерегулярного кольцевого резонатора, а также определив вертикальную ось симметрии, разделим окружность на 16 секторов по 22,5 градуса каждый. Итерационно определим длину вектора от центра внешней окружности до внутренней окружности по заданному углу для каждого сектора, затем, зная радиус внешней окружности, можно узнать ширину металлизации для каждого сектора по заданному углу (Рисунок 3).

Так как в данной структуре присутствует одна ось симметрии (симметрия по горизонтальной оси) соответственно необходимо рассчитать вектора лишь в первых двух квадрантах, далее отрезки повторятся.

Далее была создана схема нерегулярного кольца и проведена эмуляция работы. В данной модели сделано предположение о том, что все отрезки линии будут равны по длине, однако если увеличить протяженность максимального и минимального волнового сопротивления картина ЧХ изменяется.

Таким образом, модель на рисунке 4 представляет собой эллипс, возбужденный гальванически. Изменение входа и выхода местами не приводит к изменению частотных характеристик модели устройства.

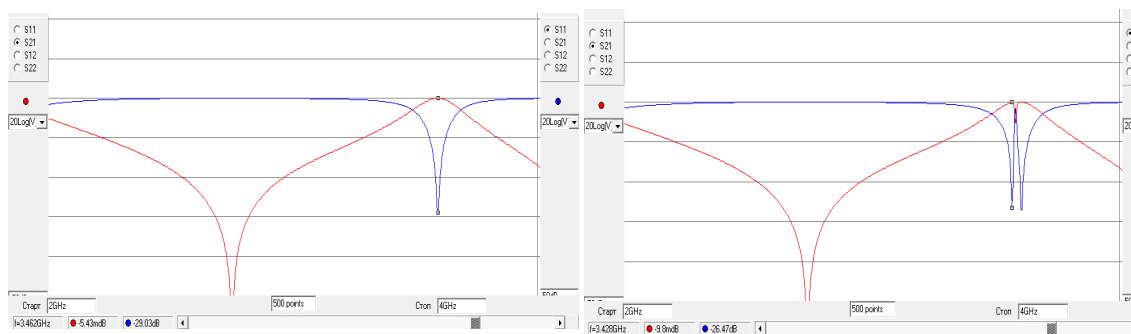


Рисунок 4. а – Результат эмуляции схемы нерегулярного кольца с линейным изменением волнового сопротивления, б – с модифицированным

2. Электродинамическая моделирование в MMANA-GAL

В ранее исследованных работах [1, 2] для создания электродинамических моделей нерегулярных структур использовалось ядро NEC. Прибегнем к этой среде моделирования для расчета КЭРов.

Для сопоставления результатов возьмем радиусы регулярного и нерегулярного кольца равными. Питающие линии соответствуют используемым на макетах.

Для регулярного КЭРа получено:

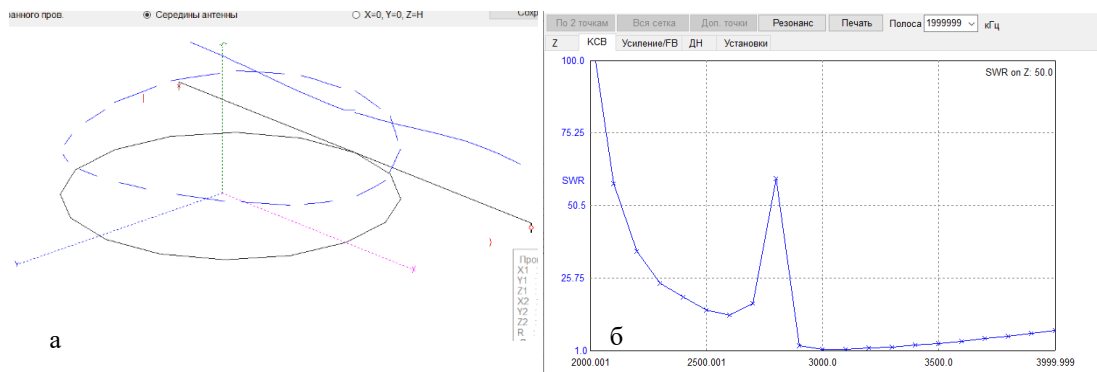


Рисунок 5. а – ЭД модель регулярного кольца, б – КСВ модели

Введем комбинированный провод, который позволит учесть линейное изменение волнового сопротивления кольца, рисунок 6.

Точка питания на стыке проводов 13-12

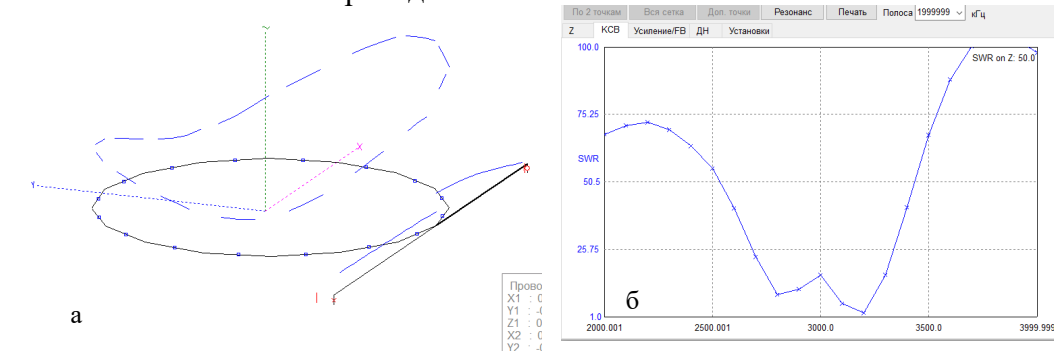


Рисунок 6. а – ЭД модель нерегулярного кольца, питание на стыке 13-12; б – КСВ модели

Переместим точку включения кольца на стык проводов 16-1 и рассмотрим в уменьшенном диапазоне 2800-3200 МГц характеристику КСВ:

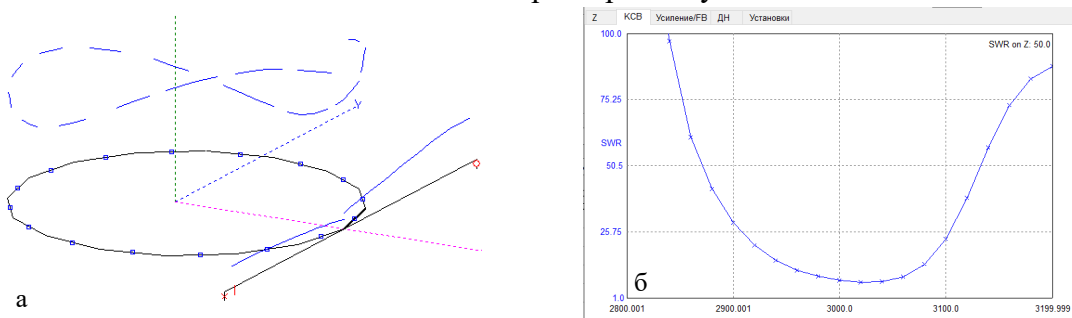


Рисунок 7. а – ЭД модель нерегулярного кольца, питание на стыке 16-1; б – КСВ модели

От смены точки питания с сохранением длин питающих линий меняется характеристика КСВ. Проверим как меняется КСВ при равных длинах питающих линий, но с изменением входа и выхода структуры (прямое и обратное величение). Точка питания кольца между проводов 13-12. Длины питающих линий 26.6мм, прямое включение. Диапазон 2000-4000 МГц.

Прямое включение:

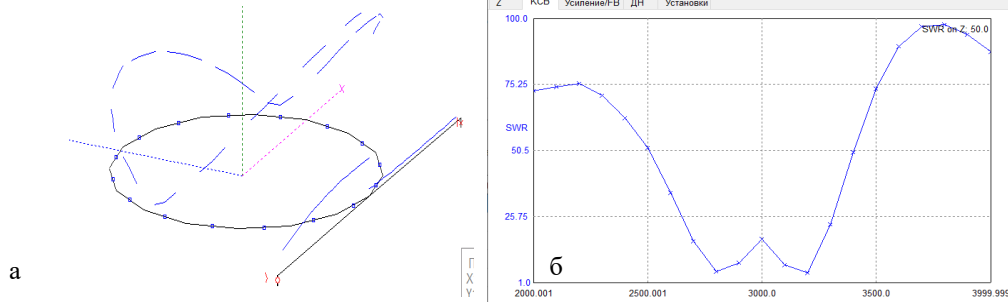


Рисунок 8. а – ЭД модель нерегулярного кольца с равными длинами питающих линий, питание на стыке 13-12; б – КСВ модели при прямом включении

Обратное включение:

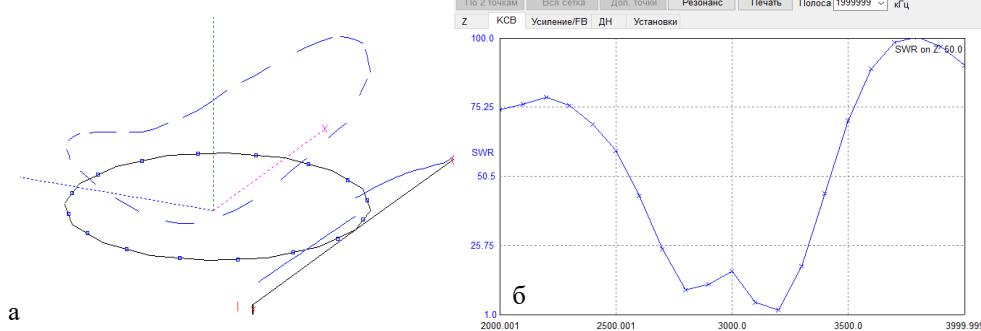


Рисунок 9. а – ЭД модель нерегулярного кольца с равными длинами питающих линий, питание на стыке 13-12; б – КСВ модели при обратном включении

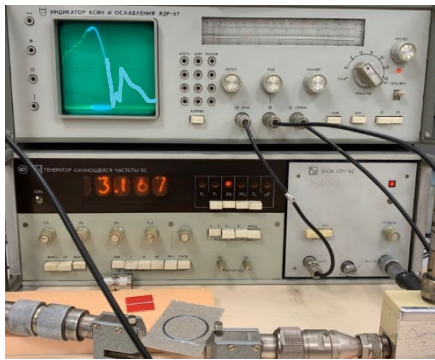
Можно сделать вывод, что для нерегулярного кольца сторона питания при равных длинах питающих линий имеет значение.

Очевидно, что при разных длинах питающих линий результат моделирования будет меняться в зависимости от стороны с которой будет запитываться кольцо, поэтому для чистоты эксперимента была проведена эмуляция работы структуры с равными питающим линиями.

В результате моделирования в программе RFSim99 изменения характеристики от стороны питания не происходит, в связи с чем можно сделать вывод о том, что данный прикладной пакет **не позволяет учитывать направление волны в кольце**, в программе MMANA-GAL такая возможность присутствует.

3. Измерение макетов

Метод контакта ведущей линии с резонаторами в обоих случаях гальванический, измерения макетов представленных на рисунке 1 проводились в диапазоне 2,1 – 4,2 ГГц.



- Для макета с регулярным КЭРом:
- Резонанс на частоте 3,16 ГГц
 - Резонанс на частоте 3,26 ГГц
 - Порядок режекции -10 дБ для второго резонанса и более -15 дБ для первого
- При обратном подключении макета изменения в АЧХ не выявлены.

Рисунок 10. Измерение макета с регулярным КЭРом

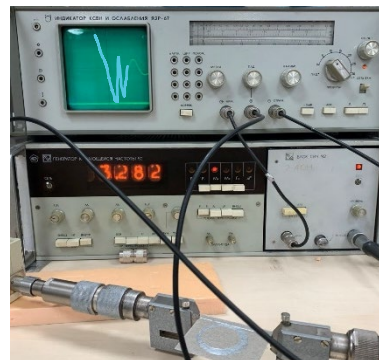
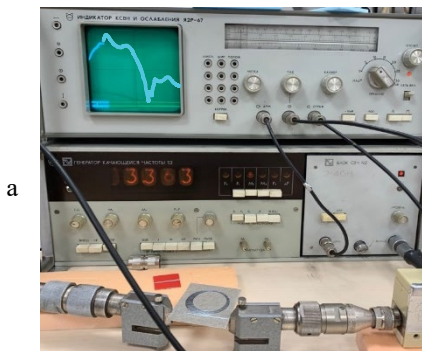


Рисунок 11. а – Измерение макета с нерегулярным КЭРом при прямом подключении, б – при обратном

Для макета с нерегулярным КЭРом измерения:

- | | |
|---|--|
| <p>а. При прямом включении:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Резонанс на частоте 3,36 ГГц - Резонанс на частоте 3,41 ГГц - Порядок режекции -9,3 дБ для второго резонанса и -14,5 дБ для первого | <p>б. При обратном включении:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Резонанс на частоте 3,28 ГГц - Резонанс на частоте 3,50 ГГц - Порядок режекции -12 дБ для второго резонанса и более -15 дБ для первого |
|---|--|

Также было отмечено, что общий уровень АЧХ при смене сторон подключения изменяется

4. Выводы

Созданы модели и макеты, произведен анализ работы регулярного и нерегулярного КЭРа с линейным изменением сопротивления. Результаты расчет и эксперимента имеют хорошее совпадение.

Возбуждение кольца при помощи гальванического контакта приводит только к режиму стоячей волны, при этом место входа и выхода сигнала влияет на ЧХ нерегулярного КЭРа, при прочих равных элементах, меняется общий уровень сигнала в тракте.

Сторона включения для нерегулярного кольца имеет значение, что подтверждено экспериментально, а также можно выдвинуть предположение, что подобная структура является невзаимной.

Место питания структуры КЭРа с линейным изменением сопротивления меняет ЧХ.

В дальнейших работах будут рассмотрены другие возможные способы питания КЭРов, например, через связанные линии или встречно направленные НО, для того, чтобы рассмотреть возможность определения направления движения волны и определения взаимности структуры.

Список литературы

1. Иванищева Е.Ф., Седышев Э.Ю. Устройство направленного ответвления мощности на связанных нерегулярных линиях : материалы всерос. научно-метод. конф. ПКМ 2022, СПб, 6 дек. – 8 дек. 2022 г. : СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 56 – 61.
2. Иванищева Е.Ф., Устройства мультиплексирования сигнала на связанных нерегулярных линиях: магистерская дис.: 11.04.02. – СПбГУТ, СПб, 2023 – 99 с.
3. Сазоненко Н.Ю., Седышев Э.Ю., Устройства частотной селекции на основе кольцевого эллиптического резонатора на микрополосковой линии // Электроника и микроэлектроника СВЧ. СПб.: Санкт-петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2019. Т. 1. С. 409-411.