

Литература

1. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – С. 13-21.
2. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Техносфера, 2005. – С.22-25.
3. Электродинамический расчет характеристик полосковых антенн / Б.А.Панченко, С.Т.Князев и др. М.: Радио и связь, 2002. – С.75-93.
4. Tourne J. Micro-machining of Trenches to Form Shielded Transmission Lines. Printed Circuit Design&Manufacture. 2004, №4, p.34-37.
5. Калякина Т.М. Перспективная технология изготовления многослойных ВЧ плат. Зарубежная радиоэлектроника, 2000, №4, с.54-61.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ТРАНСУРЕТРАЛЬНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТИПА КОАКСИАЛЬНЫЙ РЕБРИСТЫЙ СТЕРЖЕНЬ

проф.Елизаров А.А., асп.Шаймарданов Р.В.

Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)

Проведено исследование электрода для трансуретральной микроволновой термотерапии на основе замедляющей системы типа коаксиальный ребристый стержень. Получены аналитические соотношения, позволяющие осуществлять расчет ее дисперсионных характеристик и волнового сопротивления в зависимости от геометрических размеров образующих проводников и диэлектрического заполнения. Приведены результаты численного моделирования электрода с помощью программных средств Ansoft HFSS v.10. Дано качественное сравнение теоретических зависимостей и результатов физического эксперимента.

Research of an electrode for transurethral microwave thermotherapy on the basis of slow wave system of type a coaxial ridge core are shown. The analytical correlations are received, allowing to calculation of its dispersion characteristics and wave resistance depending on the geometrical sizes of forming conductors and dielectric filling. Results of numerical modeling of an electrode by means of software Ansoft HFSS v.10 are resulted. Qualitative comparison of theoretical dependences and results of physical experiment is given.

Резонансные отрезки коаксиальных линий широко используются для создания различных СВЧ устройств и их элементов – резонаторов, излучателей, шлейфов, согласующих устройств и др. Они просты по конструкции, а их волновое сопротивление однозначно и легко определяется отношением диаметров проводников линии и может изменяться в широких пределах [1]. Кроме того, геометрическая длина таких отрезков может быть уменьшена, если поверхность хотя бы одного из проводников коаксиальной линии сделать ребристой [2, 3]. Указанные электрофизические свойства позволяют использовать резонансный отрезок коаксиального ребристого стержня в качестве электрода для трансуретральной микроволновой термотерапии (ТУМТ).

В настоящее время наиболее часто применяется аппарат для микроволновой термотерапии «Ко Терм» шведской компании «ПросталундОперейшн АБ», состоящий из микроволнового генератора, блока управления, системы циркуляции, температурных датчиков и излучающего спирального электрода, встроенного в специальный катетер (рис.1). При использовании в медицинской практике такой спиральный широкополосный излучатель имеет ряд недостатков, наиболее значимым из которых является затрудненный отвод тепла, ограничивающий выходную мощность прибора, и приводящий к возможным ожогам тонких эпитаксиальных тканей внутренних органов.

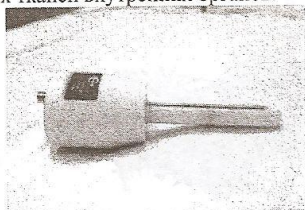


Рис.1. Внешний вид излучателя «Ко Терм».

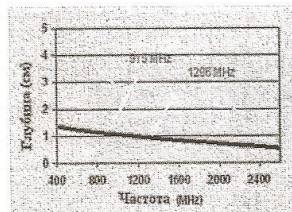


Рис.2. Глубина проникновения микроволнового излучения в зависимости от частоты.

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования показали перспективы использования для ТУМТ-терапии излучателей на основе замедляющих систем типа коаксиальный ребристый стержень с анизотропным экраном. Подобные излучатели имеют ряд следующих положительных особенностей:

- обеспечивают точную локализацию электромагнитной энергии в облучаемом участке тела;
- изменяют локальную зону нагрева внутриполостного излучателя, как по длине, так и по азимуту;
- изменяют площадь зоны облучения.

Применяемый принцип действия разрабатываемого электрода должен свести к минимуму послеоперационные синдромы у пациентов.

Микроволновая термотерапия основана на использовании электромагнитного излучения с частотами 300–2450 МГц. Электромагнитное излучение, превышающее 300 МГц, воздействуя на ткани, вызывает осцилляции свободных заряженных частиц, поляризованных молекул и диполей, что является причиной повышения температуры. Глубина проникновения микроволнового излучения уменьшается с увеличением частоты (рис.2). Когда поглощение электромагнитной волны происходит далеко от излучателя, глубина проникновения максимальна, но на практике этот случай не применим. Обычно нагрев тканей происходит в области, прилегающей к микроволновому излучателю, где электромагнитное поле далеко от идеального, поэтому глубина проникновения будет значительно меньше теоретической.

Моделирование исследуемого электрода выполнено в пользовательской программе AnsoftHFSSv.10 (рис.3). Геометрическая длина электрода выбрана равной 30 мм (рабочая частота 2450 МГц), диаметр электрода - 12 мм. Количество ребер, укладываемых на данной длине, при равенстве ширины ребра и расстояния между ними, выбрано равным восьми. Эти геометрические параметры прибора приемлемы для проведения урологических процедур ТУМТ – терапии [4].

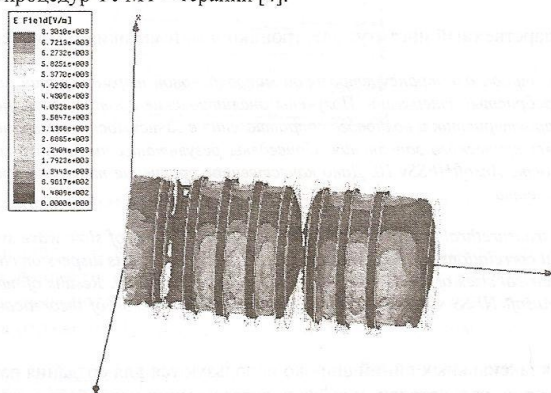


Рис.3. Модель электрода с продольно проводящим экраном в программе AnsoftHFSSv.10.

В результате моделирования получено распределение магнитной и электрической составляющих поля вблизи поверхности электрода (рис.4а,б). Картины поля имеют периодическую структуру. Волна распространяется от порта, где осуществляется подача энергии СВЧ, к противоположному порту без затухания.

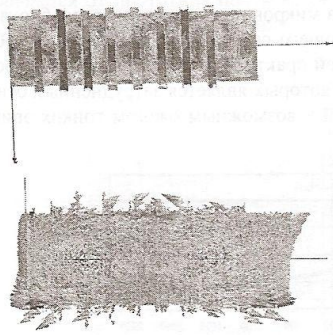


Рис.4а. Распределение магнитного поля вблизи поверхности электрода.

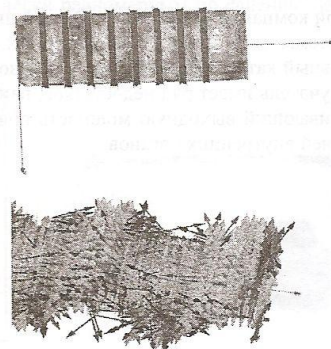


Рис.4б. Распределение электрического поля вблизи поверхности электрода.

Аналитический расчет электрода на основе замедляющей системы типа коаксиальный ребристый стержень проведен методом сшивания проводимостей электрического и магнитного типов при замене электродинамической структуры моделью анизотропно-проводящего цилиндра [5, 6]. В общем виде дисперсионное уравнение такой замедляющей системы получено в работе [7]. Поскольку поперечные размеры отрезка ко-

аксиального стержня на практике выбираются существенно меньшими, чем длины волн сигнала, то наиболее важным является анализ дисперсионного уравнения для случая относительно низких частот. При этом в

случае противофазного возбуждения уравнение имеет вид:

$$\frac{\tau}{k_2} \approx \frac{k_2}{\tau} \left[\frac{\ln \frac{c}{p a}}{\ln \frac{a}{c}} - (a\tau)^2 \frac{\ln \frac{b}{a} \ln \frac{c}{p}}{\ln \frac{c}{p a}} \right]$$

где τ - поперечная постоянная, связанная с волновым числом k_2 и фазовой постоянной β соотношением $\beta^2 = \tau^2 + k_2^2$, a - радиус экрана, c - радиус ребристого стержня, p - радиус выточек ребристого стержня.

Считая квадрат произведения $(a\tau)^2$ - малым, дисперсионное уравнение упрощается $\frac{\tau^2}{k_2^2} \approx \frac{\ln \frac{c}{p a}}{\ln \frac{a}{c}}$; и тогда

величина относительного коэффициента замедления $\frac{\beta}{k_2} \approx \sqrt{\frac{\ln \frac{b}{p}}{\ln \frac{a}{c}}}$ определяется отношением радиусов элект-

родов и выточек в них. Рассчитанные зависимости $\frac{\beta}{k_2}$ от отношения размеров ребер $\frac{b}{p}$ при изменении $\frac{a}{c}$ показаны на рис.5.

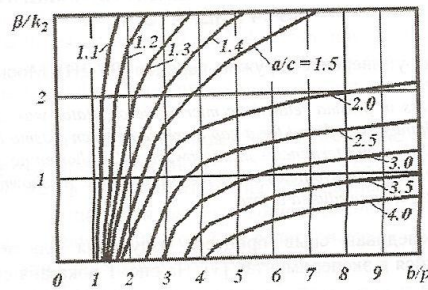


Рис.5. Зависимости относительного замедления системы типа коаксиальный ребристый стержень.

Полученные теоретические соотношения качественно подтверждаются результатами физического эксперимента. На рис.6 показаны теоретические и экспериментальные зависимости коэффициента замедления от частоты при различном заполнении внутренней области электрода диэлектрической средой с различной относительной диэлектрической проницаемостью. При этом экспериментальная кривая для структуры с воздушным заполнением имеет несколько большие значения, чем теоретическая, что объясняется незначительной погрешностью полученных аналитических соотношений.

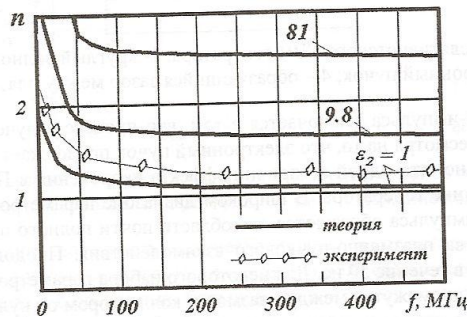


Рис.6. Сравнение теоретических и экспериментальных дисперсионных характеристик замедляющей системы типа коаксиальный ребристый стержень.

Таким образом, найденные в результате электродинамического анализа теоретические соотношения позволяют рассчитать изменение фазовой скорости замедленной электромагнитной волны в структуре типа коаксиальный ребристый стержень и находятся в хорошем соответствии с экспериментальными результатами. Применение такой структуры в качестве электрода для ТУМТ-терапии представляет практический ин-

терес, поскольку позволяет уменьшать его продольные геометрические размеры при сохранении электрической длины. Кроме того, управляя поперечной постоянной и диэлектрической проницаемостью среды в пространстве между ребристым стержнем и экраном, можно добиться требуемого коэффициента замедления при заданной рабочей частоте электрода, что, в свою очередь, позволяет использовать предложенную структуру для эффективного терапевтического лечения.

Литература

1. Изюмова Т.И., Свиридов В.Т. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии. М.: Энергия, 1975.
2. Елизаров А.А., Пчельников Ю.Н. Радиоволновые элементы технологических приборов и устройств с использованием электродинамических замедляющих систем. М.: Радио и связь, 2002.
3. Елизаров А.А. Технологические процессы и устройства на замедленных электромагнитных волнах: современное состояние и тенденции развития // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 1998. т.1. №1. с.41-49.
4. Окавитов В.В. Практика ТУР операций. М.: «Мирмед», 2005.
5. Дзугаев В.К., Пчельников Ю.Н. Расчет и конструирование замедляющих систем. М.: МИЭМ, 1989.
6. Пчельников Ю.Н., Елизаров А.А. Методические указания для выполнения самостоятельных и лабораторных работ по курсу «Расчет и конструирование замедляющих систем». М.: МИЭМ, 1994.
7. Пчельников Ю.Н. Коаксиальная линия с ребристыми электродами. М.: МИЭМ, 1985.

МЕХАНИЗМЫ УКОРОЧЕНИЯ ИМПУЛЬСА ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО СВЧ-ГЕНЕРАТОРА

асп. Ернылева С.Е.

Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия

Disruption of radiation process in plasma relativistic microwave oscillator was explored in numerical model with particle-in-cell method. The mechanism was found for a gap increase between plasma boundary and the collector which disturbs the feedback in the oscillator and terminates in microwave pulse shortening. The potential difference between plasma and the collector along with microwave fields cause the gap increase. As shown, the microwave pulse shortening due to plasma heating occurs faster than predicted before.

На численной модели исследован срыв процесса излучения плазменного релятивистского СВЧ-генератора (ПРГ), наблюдавшийся в экспериментах [1]. На рис. 1 показана схема аксиально-симметричного ПРГ, где в волноводе 1 заранее создается трубчатая плазма 2, и в нее через левую границу инжектируется релятивистский электронный пучок (РЭП) 3. В настоящей работе найден механизм образования зазора 4 между краем плазменного цилиндра 2 и коллектором 5, приводящий к нарушению обратной связи в генераторе и укорочению СВЧ-импульса.

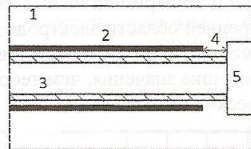


Рис. 1. Схема плазменного релятивистского СВЧ-генератора: 1 - круглый волновод; 2 - трубчатая плазма; 3 - релятивистский электронный пучок; 4 - образующийся зазор между плазмой 2 и коллектором 5.

Эффект укорочения СВЧ-импульса заключается в том, что процесс излучения в СВЧ-генераторе самопроизвольно прекращается несмотря на то, что электронный пучок продолжает идти через генератор.

В работе [2] было показано, что одной из причин эффекта укорочения в ПРГ является неоднородность распределения плазмы по длине генератора. В широком диапазоне параметров (ток, индукция магнитного поля, геометрия) в течение импульса образуются две области почти полного отсутствия плазмы на левой и правой границах пространства плазменно-пучкового взаимодействия. Продольный размер этих областей растет со временем до ~ 1 см в течение 50 нс. Для некоторого набора параметров системы авторами [2] было показано, что с увеличением промежутка между плазмой и коллектором от нуля до 1 см коэффициент отражения падал от 0.64 до 0.18, а отраженная мощность уменьшалась более чем на порядок. Уменьшение коэффициента отражения плазменной волны от коллектора приводило к нарушению условия автогенерации.

Таким образом, появление и быстрое ($2 \cdot 10^7$ см/с) увеличение зазора между плазмой и коллектором сопровождается срывом процесса СВЧ-генерации. Однако причины образования зазора между плазмой и коллектором в работе [2] не объяснены. Целью настоящей работы было выяснение механизма образования зазора между плазмой и коллектором как причины укорочения СВЧ-импульса.