

Разработка модели мощного развязывающего устройства для расчета тепловых характеристик

А.Г. Иванов¹, А.И. Кайбалдиев¹, Д.С. Буянов², О.А. Горлин^{1,2}, В.В. Климаков^{1,2}

¹ООО НПК «Радарсервис»

²Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина

Аннотация: В работе представлены результаты моделирования тепловых характеристик развязывающего устройства на 2 кВт. Разработана модель циркулятора в программе Comsol Multiphysics, заданы электрические параметры и рассчитаны температурные значения от изменения входной мощности.

Ключевые слова: мощные циркуляторы, тепловые характеристики, температура феррита, вносимые потери, тепловая труба

1. Введение

Циркуляторы, вентили и другие ферритовые развязывающие устройства (ФРУ) СВЧ диапазона сейчас находят широкое применение в военных и промышленных приборах, и устройствах. Несмотря на быстрое развитие полупроводниковых компонентов, которые по своим функциональным возможностям во многих случаях успешно конкурируют с ферритовыми развязывающими устройствами, полностью отказаться от применения ФРУ на данном этапе развития техники СВЧ не представляется возможным. Применение ФРУ неизменно остается актуальным в условиях радиационных воздействий и высоких уровней мощности. ФРУ используются для защиты мощных источников радиосигналов от переотражений в СВЧ-трактах, для обеспечения их стабильности в случае изменяющейся во времени нагрузки и для развязки передатчика, приемника и антенны в радиолокационных системах, особенно в фазированных антенных решетках. Одной из важных задач при разработке ФРУ на высокую мощность является не только возможность возникновения электрического пробоя, который ухудшает согласование прибора и сопровождается при его развитии дополнительными потерями, но и разогрев ферритовых вкладышей за счет поглощаемой ими электромагнитной энергии, создающими локальные перегревы, которые также выводят из строя ФРУ. Расчеты циркуляторов показаны в литературных источниках [1-4], но исследований тепловых характеристик материалов ФРУ не проводилось, хотя этот фактор влияет на свойства феррита и соответственно на работоспособность циркулятора. Исследуемый циркулятор ранее использовался в усилительных блоках для развязки устройств на выходную импульсную мощность до 1.2 кВт, но в связи модернизацией и повышением мощности усилительного блока до 2 кВт на сегодняшний день данное развязывающее устройство не применяется в новых усилительных модулях.

Целью данной работы является разработка модели ФРУ, исследование температурных характеристик и поиск путей повышения мощности не изменяя габаритных размеров.

2. Моделирование ФРУ

Для нормальной работоспособности развязывающее устройство должно удовлетворять соответствующим требованиям (таблица 1).

Таблица 1. Требования к параметрам ФРУ

Наименование параметра	Единица величины	Величина параметра
Прямые потери, не более	дБ	0,3
Развязка, не менее	дБ	15
КСВН входа, не более	-	1,5
Предельный уровень мощности импульсного входного сигнала, не более	Вт	2000
Предельный средний уровень мощности входного сигнала, не более	Вт	200
Рассеиваемая мощность при максимальном уровне входного сигнала и прямых потерях 0,3 дБ	Вт	16

Как показано в таблице 1 прямые потери ФРУ в 0,3 дБ составляют 16 Вт, поэтому для разрабатываемой модели эта величина была взята выше и составила 20 Вт и для детального исследования температурных характеристик в программе Comsol Multiphysics была разработана численная математическая модель теплообмена ФРУ (рисунок 1).

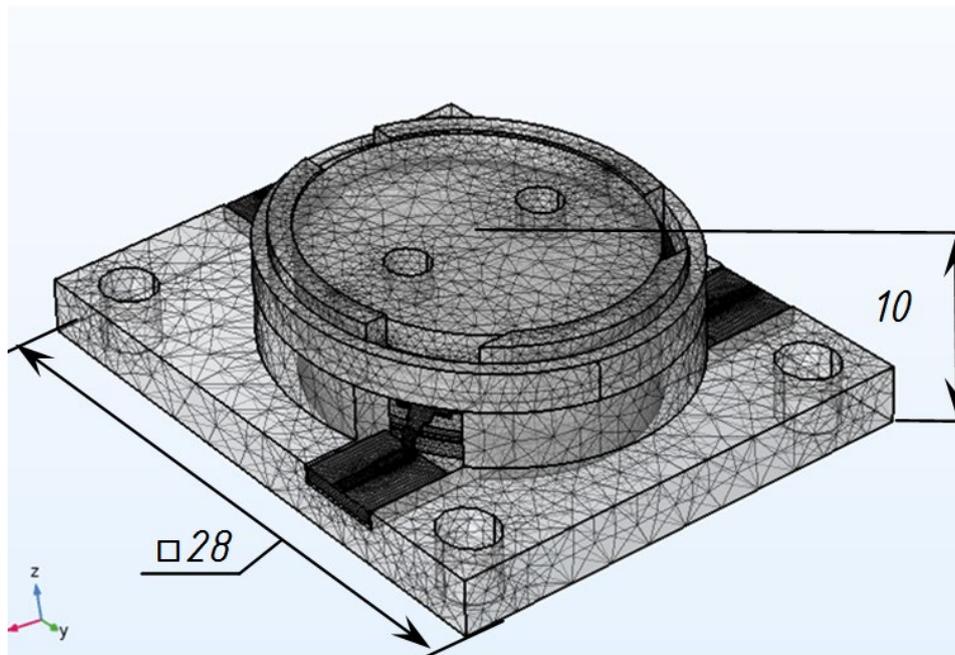


Рисунок 1. Геометрия модели развязывающего устройства с расчетной сеткой конечных элементов.

В тепловой модели температура внешнего корпуса модуля, в котором установлено развязывающее устройство взята равной 35⁰ С. В качестве граничного условия для теплообмена на внешней поверхности развязывающего устройства задан коэффициент теплопередачи в диапазоне от 2-6 Вт/м²К. Результаты расчета температурного поля ФРУ показаны на рисунке 2.

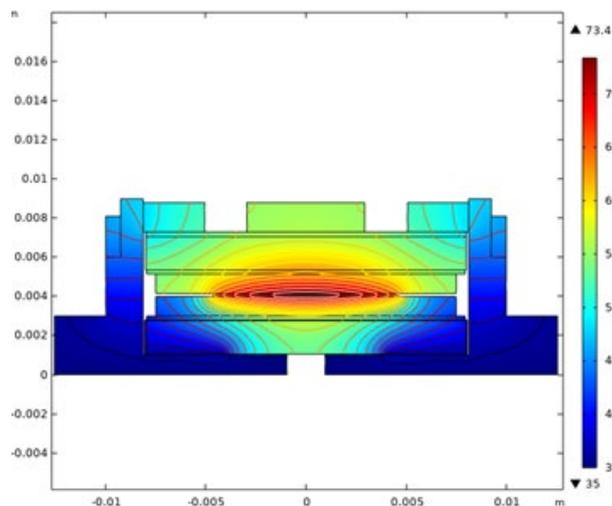


Рисунок 2. Результаты расчета температурного поля ферритового развязывающего устройства.

Из результатов расчета приведенных на рисунке 2 видно, что максимальная температура в области ферритов составляет 72°C . Это связано с тем, что вкладыши непосредственно всей своей плоскостью контактируют с проводником, который является источником тепла. Так как ФРУ находится в закрытом блоке усилительного модуля малого объема и крепится на его основание (из меди) нижней частью корпуса, то основной отвод тепла осуществляется теплопроводностью именно через низ устройства. Однако в следствии симметричного исполнения конструкции магнитной системы развязывающего устройства значительная часть теплового потока направлена и на его крышку, откуда теплоотвод осуществляется только естественной конвекцией в условиях ограниченного пространства усилительного модуля. Такая ситуация способствует появлению неравномерного распределения температуры в верхнем и нижнем ферритах разного характера, и как следствие различных условий для их работы.

Для выравнивания температурного поля по конструкции развязывающего устройства было предложено решение в виде тепловой трубы, позволяющее интенсифицировать отвод тепла через верх ФРУ на крышку закрытого блока усилительного модуля (УМ). Вариант конструкции модернизированного усилительного блока с отводом тепла от крышки ФРУ с помощью тепловой трубы показан на рисунке 3. Форма тепловой трубы её расположение и способ установки приведены на рисунке 3,а.

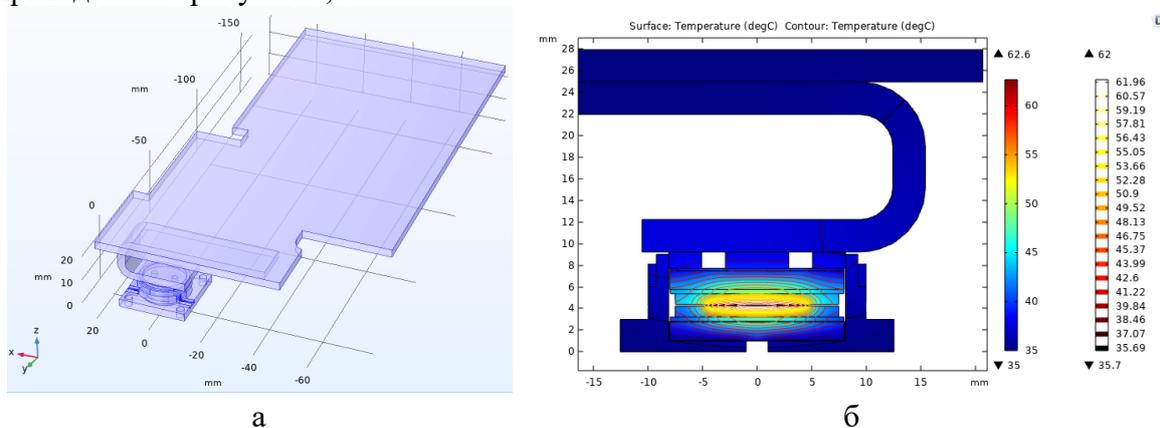


Рисунок 3. ФРУ с тепловой трубой: а – расчетная модель конструкции ФРУ; б – результаты расчета температурного поля.

На рисунке 3,б показано распределение температуры по конструкции ФРУ с тепловой трубой. Максимальная температура развязывающего устройства в результате установки тепловой трубы будет снижена на $10,8^{\circ}\text{C}$, а максимальная температура на ферритовых дисках не будет превышать 64°C .

Установка тепловой трубы позволяет получить более равномерное распределение температуры по ферритам и в конструкции рисунок 4 а,б, а также снизить градиентный перепад на $12 - 10^{\circ}\text{C}$ по всей длине в диаметральном направлении диска.

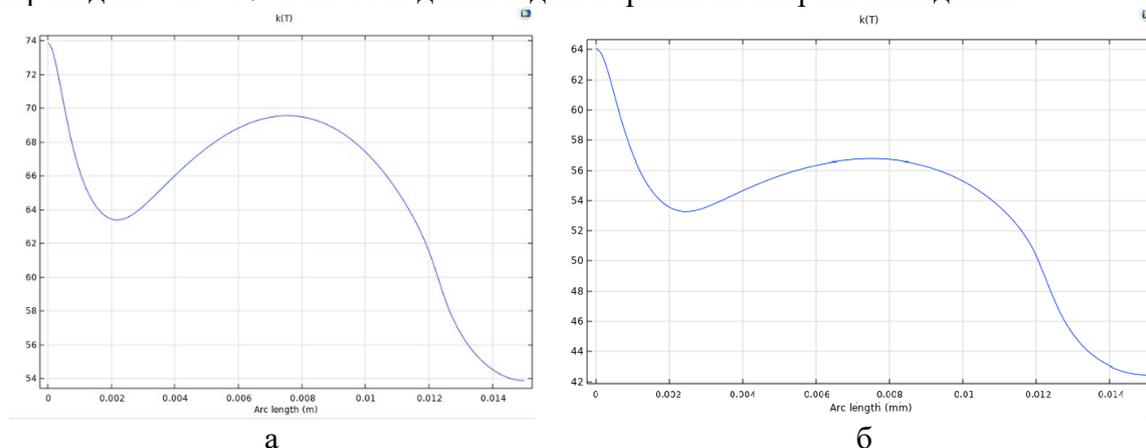


Рисунок 4. Распределение температуры по длине диаметральной линии сечения на верхнем феррите в плоскости сечения на уровне 0.045 м от основания магнита: а – без тепловой трубы; б – с тепловой трубой.

Таким образом, введение тепловых труб обеспечит более равномерное распределение температуры по диаметру феррита, а также снизит общую температуру на 10°C .

3. Заключение

Разработана тепловая модель ФРУ в программе Comsol Multiphysics на которой исследовались температурные характеристики. Температурная зависимость моделируемой конструкции дала максимальный результат $73,4^{\circ}\text{C}$, но распределение по диаметру ферритового диска было не равномерное. Конструкция ФРУ с тепловыми трубами позволила снизить и обеспечить более равномерное распределение по ферритовым дискам температуры. Тепловая труба с более лучшими характеристиками (перепад менее 5°C) позволит более значительно снизить температуру ФРУ. Выяснен дальнейший путь решения задачи повышения мощности – использование ферритов с высоким предельным уровнем СВЧ.

Список литературы

1. Вамберский М.В, Абрамов В.П., Казанцев В.И. Конструирование ферритовых развязывающих приборов СВЧ. – Радио и связь, 1982.
2. А.Л. Микаэлян Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах. – ГОЭНЕРГОИЗДАТ, 1963.
3. Helzajn J. The Stripline Circulator Theory and Practice // John Wiley & Sons – 2008.
4. Абрамов В.П., Дмитриев В.А., Шелухин С.А. Невзаимные устройства на ферритовых резонаторах. – Радио и связь, 1982.