

Разработка быстродействующего волноводного переключателя высокого уровня мощности

В.В. Корзников, Г.А. Потопаев

АО «ИЭМЗ «Купол», г. Ижевск

Аннотация: в данной работе рассматриваются вопросы разработки быстродействующего волноводного СВЧ переключателя высокого уровня мощности. Особенностью разрабатываемого переключателя является способность сохранять низкие значения коэффициента стоячей волны в промежуточных положениях. Была создана электродинамическая модель внутренних каналов переключателя. Спроектирован механизм переключения.

Ключевые слова: волноводный переключатель, быстродействующий коммутатор, электромагнит, высокая мощность СВЧ

1. Введение

В СВЧ технике важно гибко управлять потоком электромагнитной волны. Для этого используются такие устройства как вентили, циркуляторы, переключатели, мостовые устройства, разрядники и т.д. В частности, переключатели позволяют направлять СВЧ сигналы между различными каналами или устройствами, например, между антеннами, усилителями, фильтрами или приемопередающими модулями.

С целью переключения между двумя антеннами без необходимости выключения передающего устройства требовалось разработать переключатель со следующими характеристиками:

- Рабочий диапазон частот: С
- Средняя мощность: ≥ 2 кВт;
- Импульсная мощность: ≥ 40 кВт;
- Время переключения: не более 30 мс;
- КСВ: $\leq 1,3$ в статических положениях; ≤ 2 в момент переключения.

В процессе работы была создана электродинамическая модель внутренних каналов переключателя и спроектирован механизм переключения.

2. Анализ доступного уровня техники

В связи с высокими требованиями по мощности передаваемого сигнала в радиолокации рассматривают электромеханические и ферритовые переключатели.

- **Электромеханические переключатели** характеризуются очень высокой пропускной мощностью (единицы киловатт средней мощности), средней скоростью переключения (десятки миллисекунд), очень низкими потерями (сотые доли децибела), ограниченным сроком службы и большими габаритами.
- **Ферритовые переключатели** характеризуются высокой пропускной мощностью (сотнями ватт), высокой скоростью переключения (десятки микросекунд), низкими потерями (до 1 дБ), высокой надежностью и уменьшенными, относительно электромеханических переключателей, габаритами.

Наибольший интерес на начальном этапе проведения работы представляли ферритовые переключатели, за счет скорости переключения, которая на порядок ниже, чем у электромеханических переключателей, что критически важно для решаемой

задачи. Однако, возникли сложности при поиске переключателя на требуемую мощность. Были проведены совещания с представителями ведущих предприятий России по разработке ферритовых устройств АО «НИИ «Феррит-Домен», ООО «НПП «Феррит» и АО "НИИП имени В.В. Тихомирова". По итогам проведенных совещаний специалисты предприятий убедили в невозможности создания ферритового переключателя с такими характеристиками без проведения НИР с непрогнозируемым результатом.

3. Создание электродинамической модели

Основной отличительной особенностью разрабатываемого переключателя является стабильность КСВ в диапазоне углов поворота ротора, которое достигается за счет продольных пластин между входным и выходными каналами.

С целью максимального сокращения времени переключения были уменьшены до минимально возможных габариты ротора переключателя, поскольку чем меньше момент инерции ротора, тем быстрее будет происходить переключение при том же механизме переключения. Так, удалось уменьшить угол между выходными каналами волноводов до 44° и диаметр ротора до 42 мм.

В роторе предлагается сделать две продольные пластины толщиной 1 мм, направляющие электромагнитный поток в один из выходных каналов. При этом в промежуточном положении переключателя электромагнитный поток должен разделяться между выходными каналами, как показано на рисунке 1.

В таблице 1 представлены значения КСВ, потерь и развязок для двух рабочих положений переключателя и одного промежуточного. Значения представлены для величины зазора между ротором и статором в 40 мкм. С целью увеличения развязок либо увеличения величины зазора возможно рассмотреть СВЧ ловушки в статоре из радиопоглощающего материала.

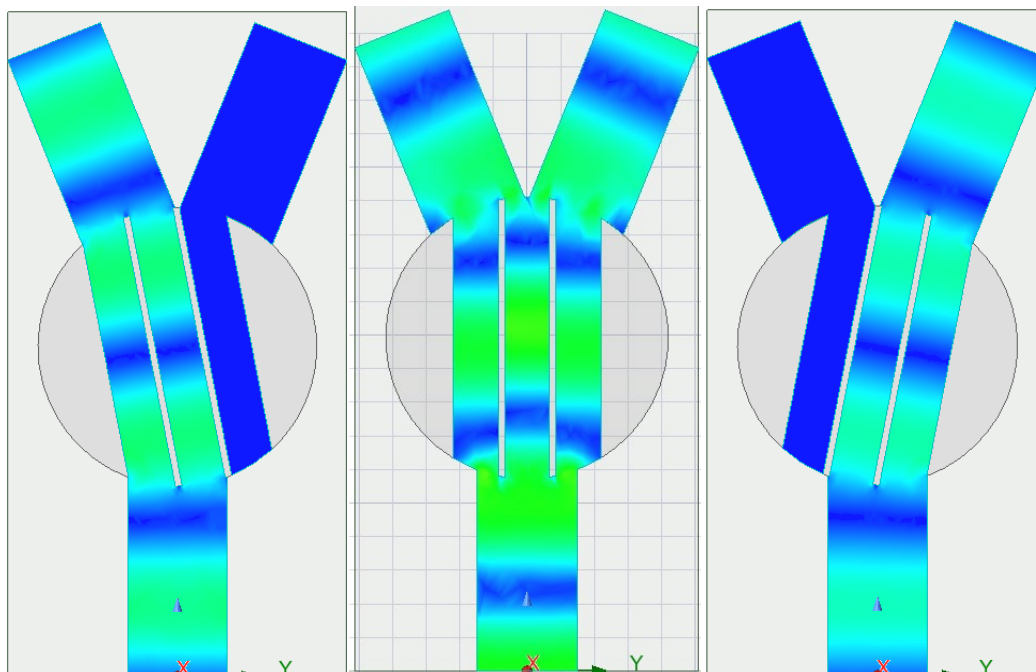


Рисунок 1. Визуализация напряженности электрического поля для различных положений переключателя

Таблица 1. Электрические характеристики переключателя

Положение переключателя	Рабочее положение 1	Промежуточное положение	Рабочее положение 2
КСВ, не более	1,25	1,2	1,25
Потери, дБ не более	-0,1	-	-0,1
Развязки, дБ не менее	-23	-	-23

Проведем параметрический анализ среднего значения КСВ переключателя в полосе частот от 7,0 ГГц до 7,4 ГГц в зависимости от угла поворота ротора и выведем результаты анализа на рисунке 2. Можно наблюдать, что наилучшее значение КСВ переключатель имеет около крайних положений, в которых он функционирует подавляющую часть времени. Но, помимо этого, и в промежуточных положениях переключателя КСВ возрастает незначительно. Так, наихудшее среднее значение КСВ составляет 1,3, что говорит о хорошем согласовании переключателя во всем диапазоне возможных углов ротора.

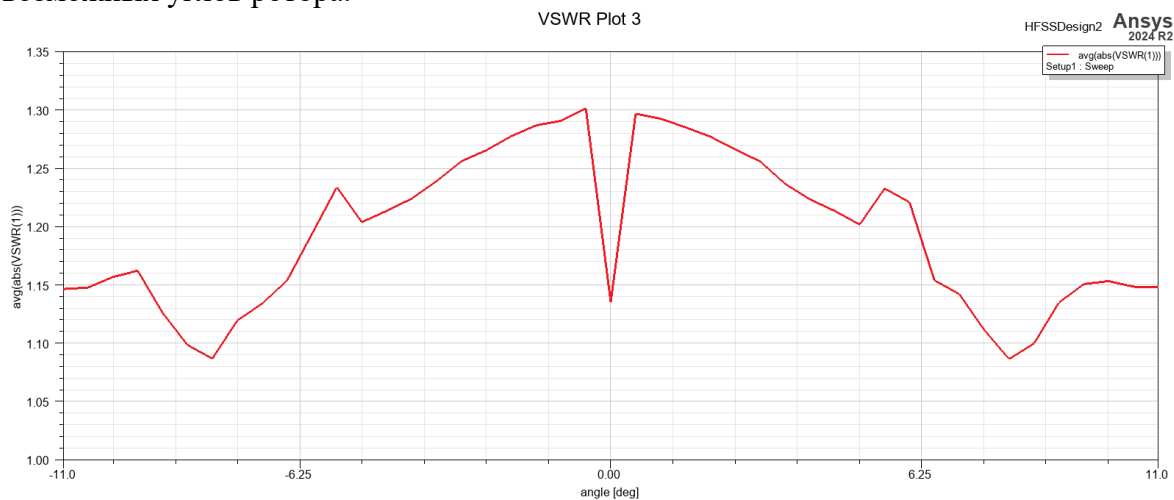


Рисунок 2. Зависимость среднего значения КСВ от угла поворота ротора

4. Проектирование механизма переключения

Далее, когда удалось разработать оптимальную конструкцию внутренних каналов переключателя, необходимо выбрать механизм переключения.

С целью удовлетворения требований по скорости переключения, было принято решение использовать в качестве движущей силы 2 электромагнита, которые будут притягивать лопасти рычага, размещенного на оси ротора.

В общем случае, найти требуемую силу, прикладываемую к ротору, для обеспечения заданного времени переключения при известных значениях момента инерции, длины плеча и угла поворота, достаточно просто. Однако, поскольку в качестве движущей силы используется электромагнит, который обладает некоторым временем намагничивания и его сила нелинейно изменяется в зависимости от угла поворота рычага, то было принято решение построить электромагнитную модель (рисунок 3), определить силу электромагнита в зависимости от угла поворота рычага (рисунок 4) и время переключения рычага на заданный угол (рисунок 5).

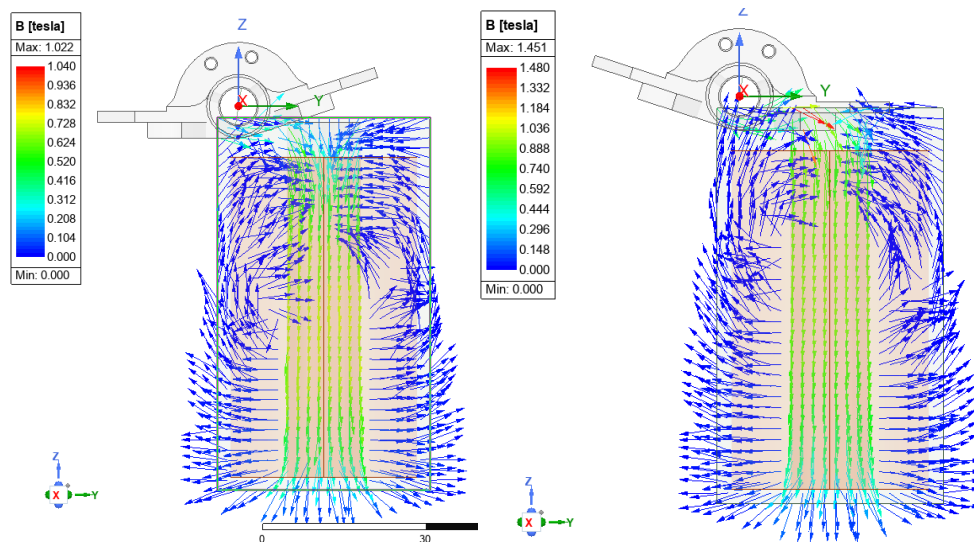


Рисунок 3. Распределение векторов магнитной индукции около электромагнита

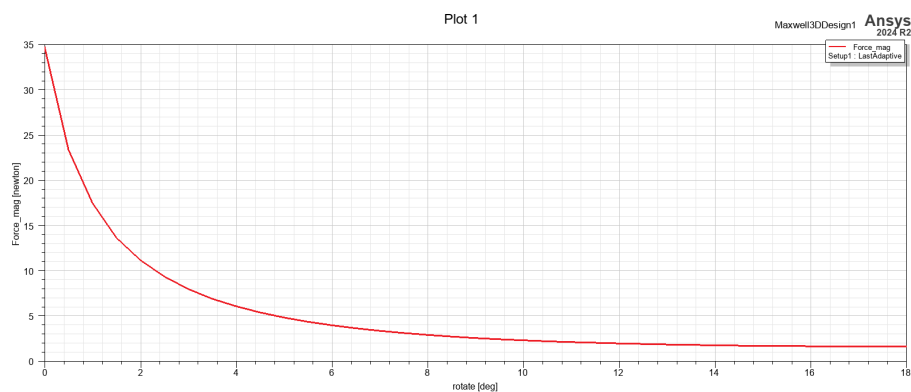


Рисунок 4. Зависимость силы, действующей на рычаг от угла поворота рычага

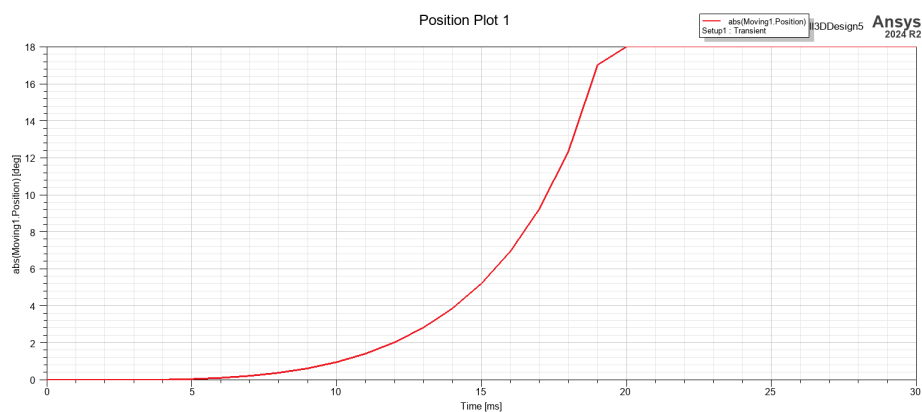


Рисунок 5. Зависимость угла поворота рычага от времени

На рисунке 6 показаны 3 кадра из анимации переключения устройства, с указанием текущего положения, времени и скорости вращения.

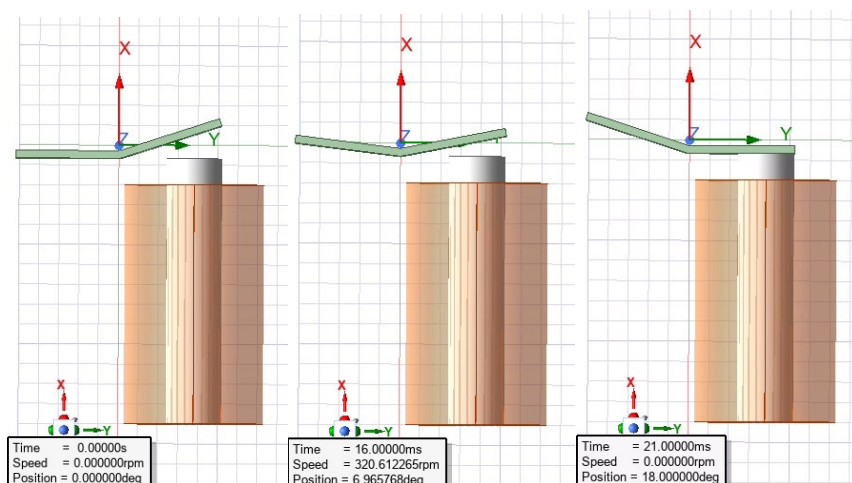


Рисунок 6. Анимация вращения рычага

Затем, для проведения эксперимента, был изготовлен рычаг на 3Д принтере (рисунок 7) и замерено примерное время переключения рычага, путем замедленной съемки, которое получилось приблизительно равным 20 мс.

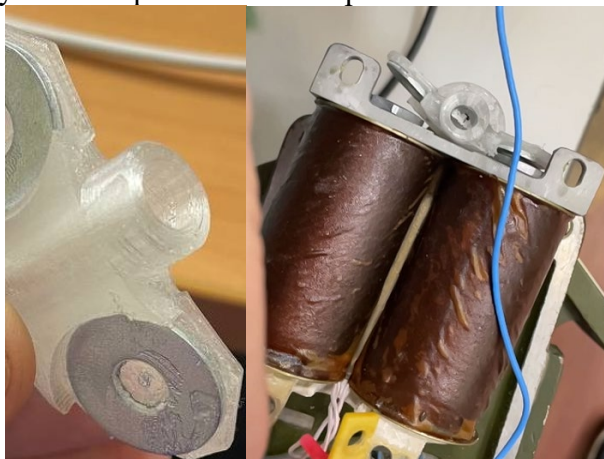


Рисунок 7. Экспериментальный макет механизма переключения

3. Заключение

В результате работы был разработан быстродействующий волноводный переключатель 1x2 высокого уровня мощности, способный переключаться без выключения передающего устройства.

Основные характеристики разработанного переключателя представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики переключателя

Количество входных каналов	1 (2)
Количество выходных каналов	2 (1)
Время переключения	~20 мс
КСВ в крайних положениях	< 1,25
КСВ в промежуточных положениях	< 1,5
Потери	< 0,1 дБ
Развязки	> 20 дБ