

# Исследование переходных характеристик волноводных переключателей E-band на эффекте Фарадея

С.В. Сковородников  
АО «Ферроприбор»  
S.Skovorodnikov@ferropribor.ru

Ю.А. Синяев  
АО «Ферроприбор»  
microwave@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты измерений разработанных ферритовых волноводных переключателей E-band на эффекте Фарадея. Рассмотрены особенности работы взаимных переключателей и перспективы их применения в системах передачи данных.

**Ключевые слова:** эффект Фарадея; ферритовый переключатель; E-band; WR-12; радиорелейные станции

## I. ВВЕДЕНИЕ

Переключатели в СВЧ трактах зачастую выполняют ключевую роль в функциональных СВЧ устройствах. По принципу работы СВЧ переключатели можно разделить на три основных класса: механические, полупроводниковые, ферритовые. Внутри классов существует также многообразие принципиально различных по физическим принципам эффектов переключения (отключения) подклассов. Каждый из них обладает определенными преимуществами. В данной работе рассматривают ферритовые переключатели на эффекте Фарадея.

Переключатели на эффекте Фарадея, традиционно для ферритовых СВЧ устройств, обладают малыми вносимыми потерями, высоким уровнем проходной СВЧ мощности, стойкостью к внешним воздействующим факторам и большой наработкой. К недостаткам относят динамические характеристики: скорость переключения, энергия переключения, и сравнительно малый уровень заграждения:  $\approx 20$  дБ (у полупроводниковых и механических типов параметр заграждения составляет  $\approx 40-60$  дБ)

Особый интерес представляют ферритовые волноводные переключатели на эффекте Фарадея в области частот от 20 ГГц. Они имеют два основных преимущества. Первое преимущество заключается в простоте конструкции самого функционального узла: волновод, заполненный продольно намагниченным ферритом. Второе заключается в малых вносимых потерях. Для сравнения, вносимые потери переключателя на pin-диодах фирмы Pasternak для диапазона частот 60-90 ГГц (E-band, WR-12) составляют: типовые 4,5 дБ, максимальные 6 дБ. Разработанный АО «Ферроприбор» ферритовый волноводный переключатель имеет максимальные вносимые потери не более 2 дБ и

средние не более 1,5 дБ в рабочем диапазоне частот от 71 ГГц до 86 ГГц.

## II. КОНСТРУКЦИЯ ФЕРРИТОВЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ E-BAND НА ЭФФЕКТЕ ФАРАДЕЯ

В основе конструкции волноводного переключателя на эффекте Фарадея используется один или два селектора поляризации, волновод заполненный (полностью или частично) продольно намагниченным ферритом до состояния необходимого для поворота плоскости поляризации на нужный угол и магнитной системой для создания это поля. В зависимости от компоновки селекторов и их взаимного расположения фланцев возможна реализация взаимного или не взаимного режима работы переключателя (Рис. 1).

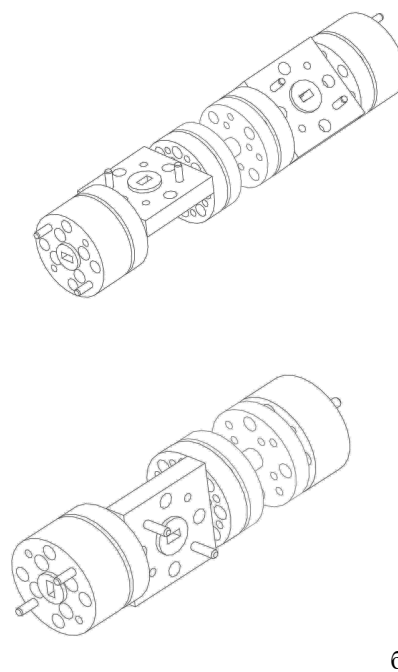


Рис. 1 а – не взаимный переключатель конфигурации SPDT, б – взаимный переключатель SPDT

Особенностью разработанных переключателей является наличие группы отверстий на соединительных фланцах волноводной ферритовой секции и селектора поляризации, обеспечивающих их прецизионное соединение с угловым

шагом в 15°. Это позволяет унифицировать основные узлы для компонентов переключателя (Рис. 2).

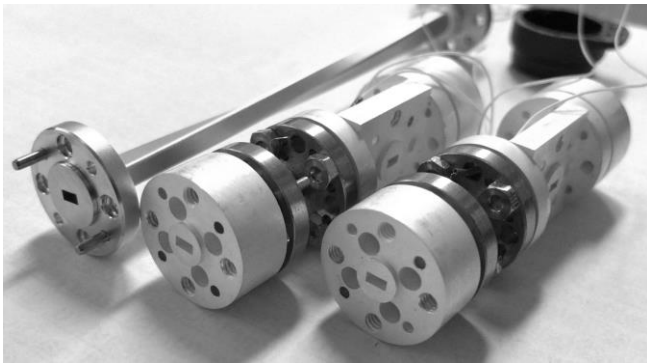


Рис. 2 Образцы взаимных ферритовых волноводных переключателей на эффекте Фарадея конфигурации SPDT

возможность управления переключателем в режиме TTL-логики.

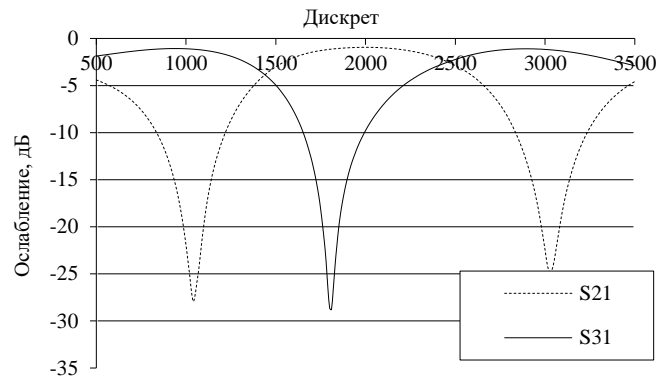


График 1. Среднее значение ослабления в каналах переключателя в полосе частот от 71 ГГц до 86 ГГц

### III. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФЕРРИТОВЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ E-BAND НА ЭФФЕКТЕ ФАРАДЕЯ

К основным электрическим параметрам ферритовых волноводных переключателей относят вносимые потери, изоляция и КСВН.

Управление осуществляется путем изменения тока в катушке управления, расположенной на волноводной секции с ферритом. В нашем случае был разработан специальный драйвер управления переключателем. Он построен на операционных усилителях по принципу двухполярного источника тока с разрешением менее 50 мкА/дискрет. 2025 дискрет соответствует нулевому состоянию (График 1).

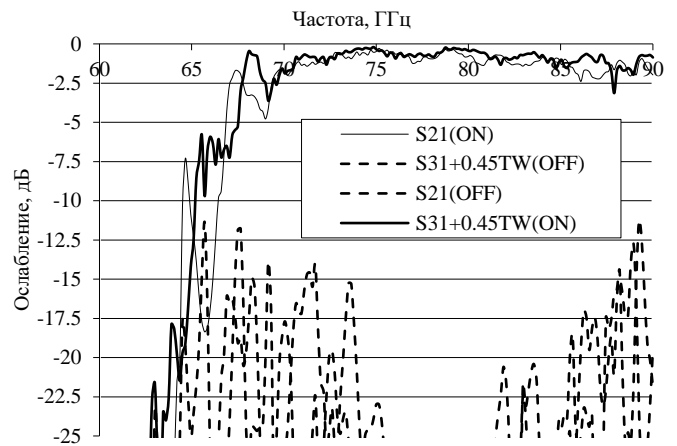


График 2. Ослабление в каналах переключателя при оптимальных значениях дискретов

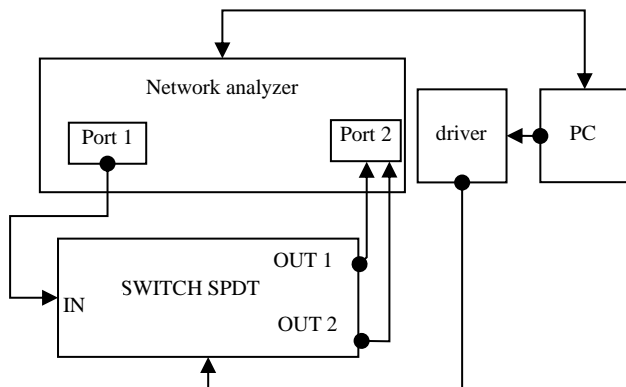


Рис. 3 Принципиальная схема измерения взаимного ферритового волноводного переключателя на эффекте Фарадея

На первом этапе измерений записываются все S-параметры переключателя при изменении тока в катушке от минимального отрицательного значения и до максимального положительного. По измеренным массивам данных производится автоматизированный или ручной подбор оптимальных значений тока в катушке, обеспечивающий оптимальное сочетание параметров переключателя: вносимые потери – развязка. Далее значения оптимальных дискретов записываются в память драйвера и появляется

### IV. ИЗМЕРЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ E-BAND НА ЭФФЕКТЕ ФАРАДЕЯ

К дополнительным параметрам можно отнести время переключения, потребляемую мощность переключения. Время переключения и потребляемая мощность величины взаимосвязанные. Они определяются в данном случае оптимальным соотношением между собой и регулируются количеством витков провода в катушке и его сечением. Также в некоторых случаях представляют интерес переходные характеристики переключателя.

В первом приближении время переключения в данном переключателе определяется временем установления заданного тока в катушке, установленной на волноводной секции с ферритом. В нашем случае драйвер обеспечивает три варианта работы переключателя. Первый вариант представляет собой включение силовых цепей драйвера на поддержание заданного тока (Рис. 4). Второй вариант заключается в кратковременном режиме работы силовых цепей драйвера в предельных режимах с контролем цепи по обратной связи приближения к заданному току и выход на режим поддержания тока (Рис. 5). Третий режим

заключается в квази-непрерывном изменении тока в катушке при переключении переключателя со временем, много превышающим время переходного процесса в катушке управления.



Рис. 4 Осциллограмма тока в катушке переключателя в режиме оптимального энергопотребления.  $R_{инд.} = 1 \text{ Ом}$

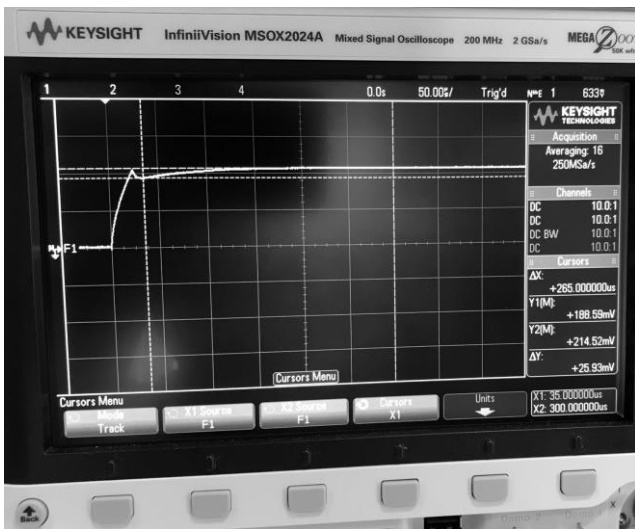


Рис. 5 Осциллограмма тока в катушке переключателя в режиме максимального быстродействия.  $R_{инд.} = 1 \text{ Ом}$

Энергопотребление при максимальном оптимальном токе в катушке составляет порядка 0,1 Вт.

Переходные характеристики ослабления, как уже было показано на Графике 1, имеют плавный ход, пропорциональный изменению тока в катушке управления. Стоит отметить, что этот эффект иногда используется для режима работы переключателя в качестве аттенуатора. При этом не происходит значительного изменения входного КВСН. Что может быть важно при работе с непрерывной подачей мощности.

Еще одной переходной характеристикой является изменение поляризации выходного сигнала в зависимости

от полярности тока включения/выключения переключателя (Графики 3, 4).

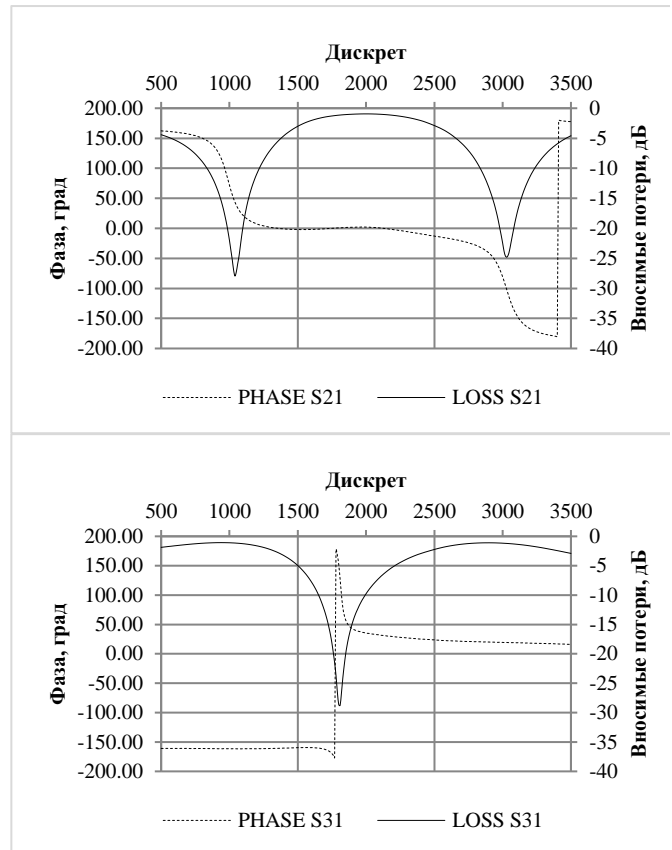


График 3, 4 Изменение поляризации СВЧ сигнала на выходе переключателя в зависимости от полярности тока включения/выключения

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение переходных характеристик взаимного ферритового волноводного переключателя на эффекте Фарадея показывает возможность его применения в качестве аттенуатора. Позволяет качественно оценить энергоемкость периферийного вспомогательного оборудования и возможные режимы работы. Данные измерения наглядно демонстрируют принцип работы подобных переключателей.

На сегодняшний день полосы радиочастот 71-76 ГГц и 81-86 ГГц отведены для разработки, производства, модернизации и применения в Российской Федерации перспективных радиорелейных станций прямой видимости (РРС). Соответствуя частотному диапазону данные переключатели могут быть основой компонентной базы таких систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Микаэлян А.Л. Теория применения ферритов на сверхвысоких частотах // М.—Л., Госэнергоиздат, 1963, 664 с. с илл.
- [2] Лакс Б. и Баттон К. Сверхвысокочастотные ферриты и ферримагнетики // перевод с английского под редакцией А. Г. Гуревича, издательство «Мир» Москва 1965г.
- [3] Решение ГКРЧ от 22 октября 2019 г.