

**С.В. Сквородников¹, А.Б. Гуськов¹, А.И. Шарафеев²,
В.А. Степанов²**

¹ОАО «Завод «Магнетон»

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Элемент управления линейной поляризацией для ФАР

В статье описывается элемент управления линейной поляризацией – ЭУЛП на основе управляемой квадрупольной магнитной системы на ферритовом стержне. Приведена блок-схема установки для измерения электрических параметров ЭУЛП с применением современных четырех портовых векторных анализаторов цепей. Уникальные свойства наряду с хорошими электрическими параметрами делают управляемые преобразователи поляризации неотъемлемым элементом при конструировании современных ФАР или АФАР.

Ключевые слова: феррит, поляризатор, ФАР

Одно из существенных преимуществ любой антенны - работа на различных типах поляризации, в особенности, если это ФАР или АФАР. Наиболее универсальным в этом случае элементом антенны, преобразующим поляризацию, является система из ферритового стержня с управляемым квадрупольным магнитным полем. В литературе описаны варианты исполнения поляризаторов, переключающих ФАР с круговой поляризации на два типа линейной [1-3]. В данной работе представлены результаты исследования элемента управления линейной поляризацией – ЭУЛП с одной управляемой квадрупольной магнитной секцией (рис. 1), работающей в режиме магнитной памяти и предназначенного для переключения линейной поляризации в круговую левого либо правого вращения.

Рассматриваемая конструкция ЭУЛП выполнена на металлизированном ферритовом стержне прямоугольного сечения (1) (Рис. 2). Вход ЭУЛП согласован с волноводом прямоугольного сечения посредством керамических четвертьволновых трансформаторов (2). Выход ЭУЛП согласован на волновод круглого сечения (3). На ферритовый стержень установлена управляемая квадрупольная магнитная система (4). В данной конструкции особенностью квадрупольной системы является смещение геометрического центра «пяток» магнитопроводов относительно оси симметрии ферритового стержня. Это было сделано для выравнивания полюсов квадрупольного магнитного поля относительно осей симметрии ферритового стержня.

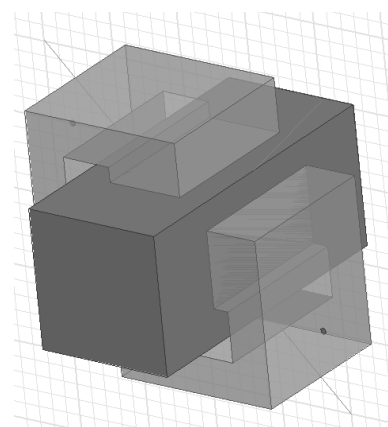


Рис. 1

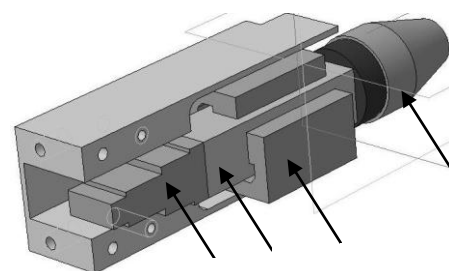


Рис. 2

Оптимальное смещение рассчитывалось из равенства распределения напряженности магнитного поля вдоль диагоналей ферритового стержня. На рисунке 3 изображены эквипотенциали напряженности магнитного поля в ЭУЛП и график разностей амплитуд напряженности магнитного поля квадруполя вдоль диагоналей ферритового стержня при разном смещении геометрического центра "пяток" управляемых магнитопроводов относительно осей симметрии.

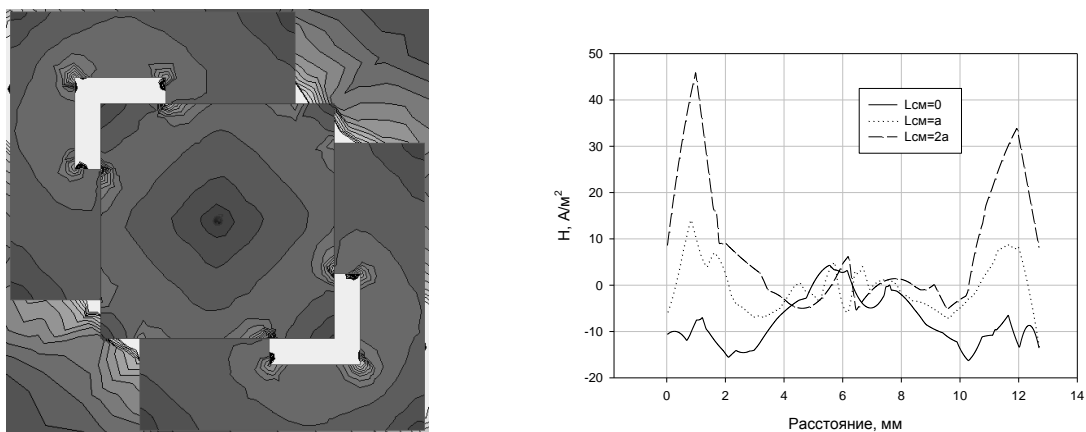


Рис. 3

С целью снижения энергопотребления при управлении и увеличении быстродействия в качестве материала магнитопроводов выбран феррит с прямоугольной петлей гистерезиса. Феррит не проводит ток, поэтому в нем нет токов Фуко, однако они наводятся в металлизации ферритового стержня под пятками магнитопровода. Это вызывает замедление процесса перемагничивания и паразитное потребление энергии. Для борьбы с этим явлением, необходимо выбирать материал магнитопровода и ферритового стержня с максимально высоким значением остаточной индукции B_r и намагниченности насыщения M_s . Ограничением в выборе максимально возможных значений B_r и M_s является близость ФМР к рабочей полосе частот ЭУЛП. Таким образом, можно значительно сократить длину магнитопроводов, что приведет к уменьшению площади металлизации, сквозь которую проходит магнитный поток. Кроме того при малой длине поляризатора можно выполнить металлизацию из материала с более высоким удельным сопротивлением не опасаясь существенного повышения потерь в нем. Это позволит еще более уменьшить токи Фуко. Такой метод применяют также в фазовращателях типа Реджиа-Спенсера [4].

Для управления магнитным квадруполем магнитопроводы содержат две обмотки управления (Рис. 4), включенные по схеме, изображенной на рисунке 5. Такой вариант позволяет производить управление от однополярного источника питания. Посредством поочередного замыкания ключей K1 и K2 на заданные промежутки времени на обмотки подаются импульсы напряжения, намагничивающие феррит в том или ином (противоположном) направлении. Результирующее изменение намагниченности зависит от общей площади пары управляющих импульсов.

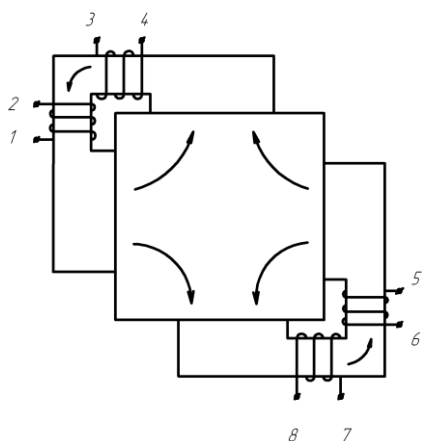


Рис. 4

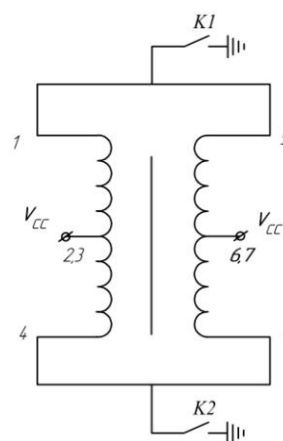


Рис. 5

Измерение параметров ЭУЛП осуществлялось при помощи векторного анализатора цепей и селектора поляризации (Рис. 6). С порта 1 векторного анализатора на вход ЭУЛП подавалась линейно-поляризованная волна вертикальной поляризации. Пройдя волна через ЭУЛП волна при помощи селектора поляризации разделялась на две ортогональные, которые подавались на порты 3 и 4 векторного анализатора. На порт 3 – горизонтальной поляризации, на порт 4 – вертикальной.

Если феррит поляризатора размагничен, передачи в порт 3 нет и весь сигнал, за вычетом потерь, проходит в порт 4. При круговой поляризации сигнала на выходе ЭУЛП амплитуды в портах 3 и 4 должны быть одинаковыми, а сдвиг фаз должен быть либо $+90^\circ$ (для правой поляризации) либо -90° (для левой). Переключение поляризации осуществлялось при помощи блока управления – БУ. В БУ осуществлялась поочередная коммутация обмоток ЭУЛП в следующем порядке: на I подавался импульс длительностью 50 мкс, на II – импульс длительностью от 1 до 50 мкс.

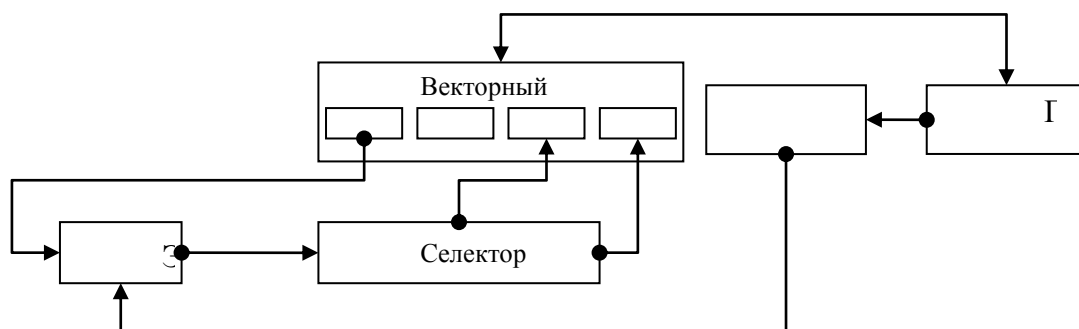


Рис. 6

В процессе измерения электрических параметров опытных образцов ЭУЛП в нормальных климатических условиях были получены величины перераспределения СВЧ мощности между ортогональными составляющими волны на выходе ЭУЛП и измерена разность фаз между ними для различных значений длительности импульса управления на II обмотке на 3-х частотах рабочего диапазона (Рис. 7).

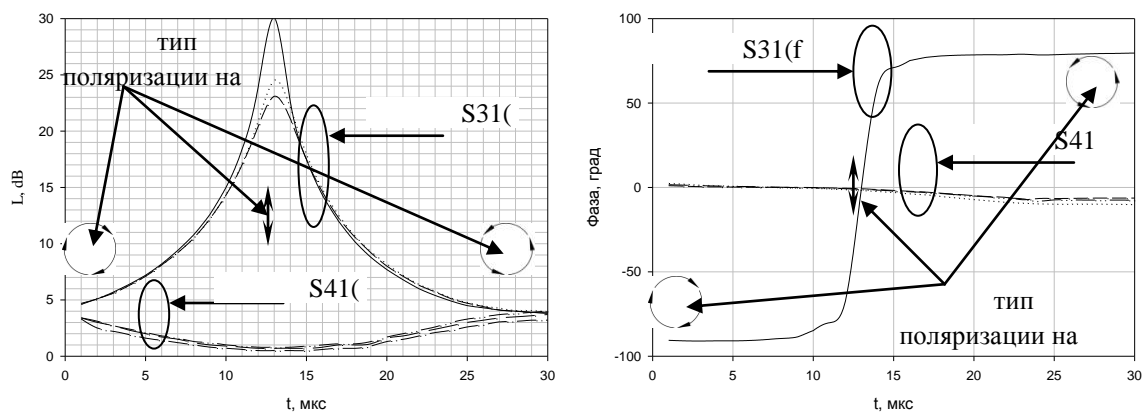


Рис. 7

Из графика видно, что в данной конструкции при длительности импульса переключения 13 мкс происходит переход феррита в размагниченное состояние, тогда как в состояниях насыщения того или иного знака происходит преобразование линейной поляризации в круговую. Наличие крутой ветки изменения электрической длины ортогональной составляющей на выходе ЭУЛП может внести дополнительное рассогласование нерабочей поляризации в составе ФАР, что даст больший коэффициент развязки рабочей и нерабочих типов поляризаций.

Поскольку современный векторный анализатор позволяет получать данные в цифровом виде, результаты измерения могут быть легко пересчитаны в такие параметры как коэффициент эллиптичности, развязку между круговыми поляризациями и др. Причем это может быть сделано в самом анализаторе. Реализация данных возможностей будет проведена в ближайшем будущем.

Заключение

Предложен простой по конструкции управляемый преобразователь линейной поляризации в два типа круговой – левого и правого вращения. Реализована высокая скорость переключения поляризации – до 30 мкс. Предложена методика контроля параметров поляризатора с применением современной экспериментальной базы.

Библиографический список

1. Ферритовый переключатель поляризации для антенного элемента ФАР. / А.И. Внуков, Ю.Н. Афанасьев, В.Г. Феоктистов // Антенны 2007. № 6, с. 61 – 65.
2. Патент России № 2194342. Антенный элемент фазированной антенной решетки. Колесников В.Л.; Афанасьев Ю.Н.; Канащенков А.И.; Францев В.В.; Гуськов Ю.Н.; Емельченков Ф.И.; ОАО "Корпорация "Фазотрон - НИИР". Оpubл. 10.12.2002 г.
3. А. И. Мамонов, Ферритовая волноводная секция с квадрупольным магнитным полем и ее применение в управляемых СВЧ-устройствах Антенны, выпуск 2 (93), 2005 г. с.76-79
4. Результаты разработки ферритовых фазовращателей для ФАР различных диапазонов. / Е.И. Старшинова, Д.В. Черников // Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. 2010-2012 / Под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2011. – 920 с.: ил. с 493 – 502