

Применение фильтра высших типов волн при измерении элементов фазированной антенной решетки круговой поляризации

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

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

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и применения фильтра высших типов волн при измерении элементов фазированной антенной решетки круговой поляризации. Представлены сравнительные результаты измерений основных электрических параметров элементов фазированной антенной решетки с фильтром высших типов волн и без него

Ключевые слова: поляризатор; *septum*; селектор поляризаций; фильтр СВЧ; поглотитель СВЧ; фазовращатель; элемент фазированной антенной решетки;

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших циклов производства элементов фазированных антенных решеток (ЭФАР) является измерение их основных электрических параметров. Задача разработки измерительного стенда, и в том числе его узлов, является по сложности сравнимой с разработкой самих ЭФАР.

Для измерения характеристик ЭФАР их помещают в имитационное антенное полотно или проводят измерения непосредственно в составе фазированной антенной решетки. Однако, такие методы являются трудоёмкими и не позволяют с требуемой точностью оценить некоторые параметры ЭФАР. Распространённым приемом является разработка измерительных ячеек для ЭФАР с возможностью измерения электрических параметров при подключении к стандартизованным линиям передачи СВЧ сигналов (коаксиальные или волноводные тракты стандартизованных сечений и разъемов/фланцев). Однако в некоторых случаях возникают резонансные явления, присущие непосредственно данной системе и не отражающие действительное поведение ЭФАР в составе полотна антенны. Например, в случае критических показателей вносимых потерь ЭФАР, вызванных резонансными явлениями на подобном стенде он может быть необоснованно забракован, либо для получения годного результата задействуется статистический аппарат современной измерительной техники типа *smoothing* и/или подобные пики игнорируются путем допущения. Для наиболее правильной оценки параметров ЭФАР можно в составе таких стендов применять специальные приёмы построения СВЧ трактов (например дроссельные соединения) и функциональные узлы типа: фильтры,

режекционные или поглощающие пластины, подвижные элементы СВЧ тракта и др.

II. СТЕНДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФАР

Для измерения основных электрических параметров ЭФАР с круговой поляризацией как правило применяют стенды на основе 2-х типовых узлов СВЧ тракта: 1) поляризатор на основе диэлектрической пластины в круглом волноводе (Рис. 1), 2) поляризатор типа «SEPTUM» (Рис. 2).

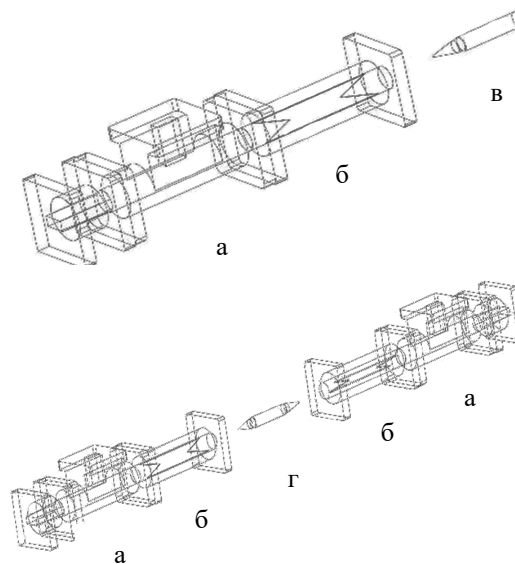


Рис. 1 – принципиальное изображение измерительных стендов для ЭФАР на основе поляризаторов с диэлектрической пластиной. а – селектор поляризаций, б – поляризатор на основе диэлектрической пластины, в – ЭФАР отражательного типа или с комбинированной «запиткой» (коаксиальной, волноводной и др.), г – ЭФАР проходного типа

На сегодняшний день наиболее популярным и прогрессивным являются стенды на основе поляризаторов типа «SEPTUM». Основных причин такой популярности две: простота его расчета в программах электромагнитного моделирования типа KeySight EMPro; высокая технологичность изготовления. Последняя причина кроется в возможности изготовления волноводного тракта

с элементом поляризации за одну установку на станке ЧПУ. В этом случае достигается максимально возможная точность изготовления расчетной модели.¹

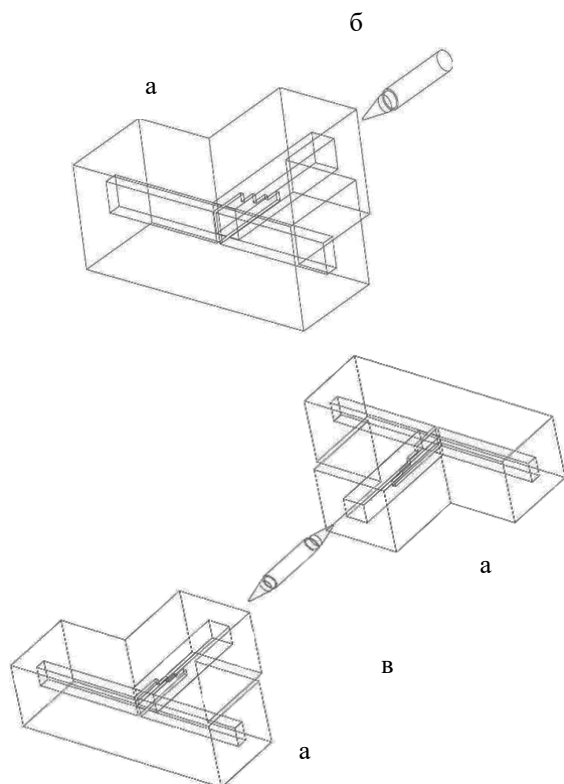


Рис. 2 - принципиальное изображение измерительных стенов для ЭФАР на основе поляризаторов «septum». а – septum, б – ЭФАР отражательного типа или с комбинированной «запиткой» (коаксиальной, волноводной), в – ЭФАР проходного типа

III. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФАР

К основным электрическим параметрам ЭФАР относят вносимые потери. Особенностью измерений вносимых потерь ЭФАР являются разные условия распространения электромагнитных волн при установке в ячейке измерительного тракта и работе в составе антенной решетки. Анализ типовых характеристик вносимых потерь при производстве ЭФАР показывает, что увеличение вносимых потерь в некоторых фазовых состояниях или частотное смещение пика вносимых потерь при изменении фазовых состояний имеют различную природу: дефект комплектующих, дефект сборки и др. Дифференцирование вносимых потерь позволяет значительно повысить выход годных при их производстве. Одним из непредсказуемых плавающих дефектов является появление ярко выраженного пика вносимых потерь, амплитуда которого значительно меняется ($\approx 3-10$ дБ) при изменении положения ЭФАР в ячейке измерительного тракта, и/или изменении его соосности относительно оси измерительного тракта, и/или замене «адаптера» ЭФАР, и/или изменении электрической длины ЭФАР (изменение фазового состояния). Причиной его возникновения является возбуждение высшего типа волн в СВЧ тракте:

septum-адаптер-ЭФАР, вследствие множества причин: неполный гальванический контакт по периферии ЭФАР и адаптера, несоосная сборка деталей ЭФАР, анизотропия материалов ЭФАР и др. Для борьбы с этим явлением были опробованы следующие решения: разработка адаптера с волноводным дроссельным соединением, расчет поляризатора с меньшим сечением, не допускающим возбуждение высших типов и др. Однако самым действующим приемом оказалось применение фильтра высших типов.

IV. ФИЛЬТР ВЫСШИХ ТИПОВ ВОЛН В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ

В круглом волноводе основным типом волны принято считать Н₁₁.² Идеология фильтра высших типов волн в круглых волноводах уже известна. В отличие от Н₁₁, остальные типы волн содержат продольную составляющую электрического поля. В центр канала волновода помещается длинный поглощающий элемент (резистивный элемент). При прохождении различных типов волн они либо отражаются, либо имеют большое погонное затухание на участке с поглощающим элементом за исключением волны типа Н₁₁.

В нашем случае эта простая задача осложнялась тем, что необходимо было изготовить фильтр в Ка-диапазоне (26-40 ГГц). Он должен иметь минимально возможный коэффициент включения в Н₁₁ и минимально влиять на эллиптичность при распространении в волноводе этого типа волны с круговой поляризацией.

Для реализации фильтра мы использовали материал с низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon < 4$) и резистивный элемент диаметром $D < 0,5$ мм, длиной $\approx \lambda$. Сопротивление резистивного элемента подбиралось близким к волновому сопротивлению E01 (Рис. 3)

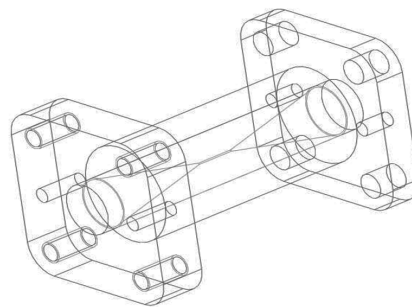


Рис.3 – Принципиальное изображение фильтра высших типов волн

V. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для оценки эффективности использования фильтра высших типов волн были проведены сравнительные замеры отражательных ЭФАР в стенде на основе поляризатора типа «septum» с фильтром и без него. Стоит отметить, что добротность Q «паразитных» пиков потерь при вариативной установке ЭФАР в измерительную ячейку стенда составляет более 1000. Это хорошо соотносится с теорией распространения электромагнитных волн в круглом волноводе в части применения волны типа E01 для передачи СВЧ сигнала на длинные расстояния благодаря его высокой добротности.²

При измерении основных электрических параметров ЭФАР регистрируются вносимые потери в рабочей полосе частот в различных фазовых состояниях. На Рис. 4 представлены типовые вносимые потери ЭФАР.

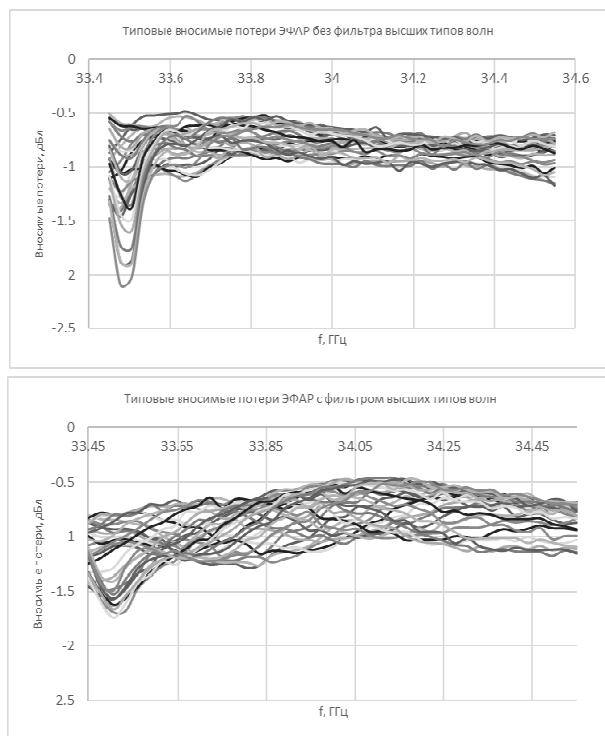


Рис. 4 Типовые характеристики ЭФАР

В случае наличия характерного пика потерь у конкретного образца ЭФАР, его амплитуда при применении фильтра высших типов волн значительно

снижается. В некоторых случаях при измерении вносимых потерь ЭФАР наблюдается полное «вырезание» «плавающих» пиков потерь или их полное отсутствие вне зависимости от положения ЭФАР в измерительной ячейке стенда.

Расщепление веера кривых вносимых потерь в разных фазовых состояниях при применении фильтра высших типов волн может быть следствием не нулевого коэффициента эллиптичности самого фильтра.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный фильтр высших типов волн с оптимально подобранным резистивным элементом для фильтрации высших типов волн в СВЧ тракте для измерения основных электрических параметров ЭФАР позволяет устранить (нивелировать) эффекты резонансного поведения характеристик вносимых потерь. Позволяет корректно оценивать вносимые потери ЭФАР даже в случае «перекачки» основного типа колебания в колебания высших типов из-за несовершенства компонентов и сборки самого ЭФАР. Применение фильтра в измерительных стендах при производстве ЭФАР позволяет поднять уровень качества вследствие селективного подхода к оценке дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kamichev T.V., Ruchenkov V.A., Sestorovetsky B.V., Klimov C.N. Circular polarization x-band selector // 2004 4th International Crimean Conference: Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings, CriMiCo'04 2004. P. 392-393.
- [2] Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники, М. : «Советское радио», 1967. 359с.