

# Приемо-передающий модуль с автоматической подстройкой мощности передающего канала

М.С. Карасев, С.А. Щёголев, А.В. Адиатулин

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** в работе предложены схемотехнические решения, позволяющие обеспечить регулировку выходной мощности предварительного усилителя мощности для исключения самовозбуждения передающего канала при отрицательных рабочих температурах.

**Ключевые слова:** АФАР, приемо-передающий модуль, передающий канал, подстройка мощности, самовозбуждение канала, подрешетка антенная.

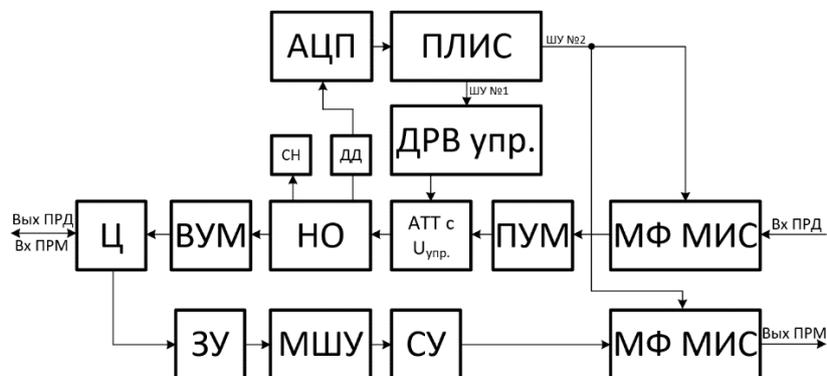
## 1. Введение

Современные АФАР состоят из подрешеток антенных основой которых являются приемо-передающие модули (ППМ). ППМ – это активный элемент, позволяющий усиливать принимаемый или передаваемый сигнал, а также задавать необходимое амплитудно-фазовое распределение с целью обеспечения сканирования окружающего пространства РЛС [1,2,3].

Штатная работа ППМ АФАР при понижении температуры окружающей среды может быть нарушена появлением паразитной генерации СВЧ-тракта передающего канала, так как коэффициент усиления используемых СВЧ-элементов тракта растет. В таком режиме уровень выходной мощности СВЧ-элементов значительно превышает уровень входной мощности элемента схемы, стоящего далее по СВЧ-тракту. В передающем канале приемо-передающего модуля СВЧ-элементами с высоким коэффициентом усиления являются предварительный усилитель мощности (ПУМ) и выходной усилитель мощности (ВУМ). Именно избыточная мощность в связке ПУМ – ВУМ при воздействии отрицательных температур является источником паразитной генерации при поданном или отсутствующем входном сигнале.

## 2. Структурная схема приемо-передающего модуля с автоматической подстройкой мощности передающего канала

Структурная схема приемо-передающего модуля с автоматической подстройкой мощности передающего канала, показана на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Структурная схема приемо-передающего модуля с автоматической подстройкой мощности передающего канала

В состав схемы входят:

- циркулятор (Ц);
- защитное устройство (ЗУ);
- малошумящий усилитель (МШУ);
- согласующий усилитель (СУ);
- многофункциональная монолитно-интегральная схема (МФ МИС);
- предварительный усилитель мощности (ПУМ);
- аттенюатор управляемый напряжением (АТТ с  $U_{упр.}$ );
- направленный ответвитель (НО);
- выходной усилитель мощности (ВУМ);
- согласованная нагрузка с волновым сопротивлением 50 Ом (СН);
- детекторный диод (ДД);
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС);
- драйвер управления (ДРВ упр.);
- шина управления (ШУ№1 и ШУ№2).

Активные элементы ППМ имеют цепи напряжений питания, не показанные на рисунке 1.

### 3. Принцип работы автоматической подстройки мощности передающего канала

В режиме работы АФАР «Передача» на вход передающего канала (Вх ПРД) поступает СВЧ-сигнал с гетеродина. СВЧ-сигнал поступает на вход МФ МИС с встроенным аттенюатором  $n$ -разрядов и фазовращателем  $n$ -разрядов. Задается необходимая амплитуда и фаза в зависимости от режима работы подрешетки антенной и поставленных задач. Промодулированный СВЧ-сигнал поступает на вход ПУМ. Сигнал усиливается до требуемой рассчитанной амплитуды, достаточной для работы ВУМ в режиме насыщения. Усиленный сигнал поступает на вход аттенюатора, управляемого напряжением. На начальном этапе включения передающего канала все разряды аттенюатора управляемого напряжением находятся в нулевом состоянии. Далее сигнал поступает на вход НО. Для обеспечения определенной направленности ответвления мощности с основной линии передачи в одно из плеч направленного ответвителя установлена СН с волновым сопротивлением 50 Ом. Ответвленная мощность поступает на вход ДД, в котором СВЧ-мощность преобразуется в напряжение более низкой частоты. Выходное напряжение определяется в соответствии с вольт-ваттной характеристикой (ВВХ) используемого ДД. Напряжение с ДД поступает на вход АЦП, в котором обрабатывается уровень напряжения (сигнал) и переводится из аналогового вида в цифровой. Далее цифровой сигнал поступает на вход ПЛИС, в которой производится обработка и анализ уровня напряжения цифрового сигнала по заданным пороговым напряжениям. Если уровень выходного напряжения ДД выше, чем заданный порог (соответствующий определенной выходной мощности на выходе ПУМ) ПЛИС подает сигнал по ШУ №1 на драйвер управления, в котором производится преобразование последовательного кода в параллельный код, о включении необходимого разряда на аттенюаторе управляемого напряжением, что позволяет снизить входную мощность ВУМ до требуемого значения. Ослабление сигнала на выходе ПУМ необходимо для исключения самовозбуждения передающего канала ППМ при пониженной рабочей температуре окружающей среды. Преобразованный СВЧ-сигнал с выхода НО поступает на вход ВУМ усиливается и поступает на выход передающего канала через циркулятор.

Все описанные операции вычислений и подстройки производятся без участия оператора, по предварительным данным и экспериментальной проверке ППМ до монтажа в подрешетку антенную АФАР.

#### 4. Заключение

Разработанная схема автоматической подстройки мощности передающего канала позволяет решить множество проблем связанных с самовозбуждением каналов в составе подрешеток антенных АФАР. Введение такой схемы в состав приемо-передающего модуля влияет на надежность самого ППМ, но в целом повышает надежность работы АФАР.

Чтобы подтвердить правильность выбранных схемотехнических решений, дальнейшие исследования будут направлены на применение данной схемы в составе реального ППМ и разработку необходимого программного комплекса для испытаний в составе подрешетки антенной АФАР.

#### Список литературы

1. Карасев М.С. Узел контроля выходной мощности передающего канала приемо-передающего модуля / Карасев М.С., Адиатулин А.В., Щеголев С.А. // СПбГЭТУ «ЛЭТИ», сборник докладов «Электроника и микроэлектроника СВЧ». - 2022. С.494-496.
2. Карасев М.С. Оперативный контроль электрических параметров приемо-передающих модулей X-диапазона частот // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2021. – Вып. 3(550).
3. Карасев М.С., Далингер А.Г., Адиатулин А.В., Щёголев С.А. Система контроля выходной мощности приемо-передающего модуля X-диапазона частот // Материалы конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» г. Севастополь – 2021.