

9. Орлов П.Е., Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Экспериментальное подтверждение возможности бесконтактной диагностики многопроводных структур посредством модального зондирования // Известия ВУЗов. Физика. Т. 56, № 6, 2013. – С. 44-47.
10. TALGAT 2011. Свид о госрегистрации программы для ЭВМ №2012660373 от 05. 10. 2012. // Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т. и др. Зарег. 16. 11. 2012.
11. Орлов П.Е., Газизов Т.Р. Новые подходы к совершенствованию электрических соединений бортовой аппаратуры космических аппаратов. Томск: Изд. ТГУСУР, 2013. – 230 с.

APPLICATION OF THE QUSISTATIC SIMULATION FOR ANALYSIS AND VERIFICATION OF NATURAL EXPERIMENT RESULTS IN RESEARCH MODAL PHENOMENA IN MULTICONDUCTOR STRUCTURES

Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Orlov P.E.

The results of the quasistatic simulation and natural experiment on propagation of the pulse signal in the flat cable are given. Signal distortions associated with modal phenomena are shown. It is demonstrated that the quasistatic simulation can be used to analyze and verify the results of natural experiment.

Keywords: , diagnostics, modal phenomena, quasistatic simulation, natural experiment.

Газизов Тальгат Рашитович, д.т.н, с.н.с., профессор Кафедры телевидения и управления (ТиУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТГУСУР). Тел. 8-382-241-34-39. E-mail: talgat@tu.tusur.ru

Заболоцкий Александр Михайлович, к.т.н., с.н.с. Кафедры ТиУ ТГУСУР. Тел. 8-382-241-34-39. E-mail: zabolotsky_am@mail.ru

Орлов Павел Евгеньевич, м.н.с. Кафедры ТиУ ТГУСУР. Тел. 8-382-241-34-39. E-mail: blink_281@mail.ru

УДК 621.396.6

ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ

Аминов В.П., Хуако Р.А.

В статье рассматривается вопрос о возможности построения двунаправленного СВЧ-усилителя, работающего без временного или частотного разделения усиливаемых сигналов. Исследованы характеристики двунаправленных усилителей на основе направленных ответвителей и ферритовых циркуляторов, произведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: двунаправленный усилитель, направленный ответвитель, циркулятор, фильтр, коэффициент усиления.

В [1] была показана возможность построения одноантенного ретранслятора с коэффициентом усиления больше единицы. Там же одноантенные ретрансляторы были названы низкопотенциальными и изложены причины, ограничивающие потенциал. В условиях недостаточной развязки, обеспечиваемой применяемыми невзаимными устройствами типа направленных ответвителей и циркуляторов, задача увеличения коэффициента усиления одноантенного ретранслятора может быть решена путем включения в фидерный тракт ретранслятора некоего гипотетического двунаправленного усилителя. Функциональные схемы таких усовершенствованных ретрансляторов

с использованием циркулятора и направленного ответвителя представлены на рис. 1.

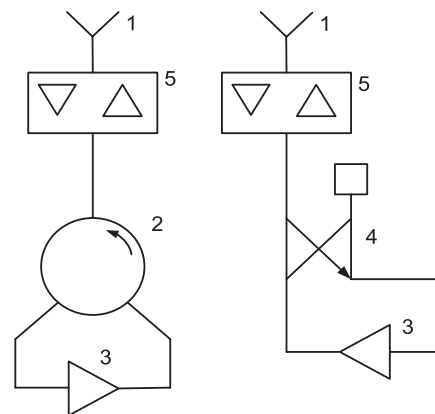


Рис. 1. Функциональные схемы одноантенных ретрансляторов с использованием двунаправленных усилителей в фидерном тракте: 1 – антенна; 2 – циркулятор; 3 – усилитель; 4 – направленный ответвитель; 5 – двунаправленный усилитель

Двунаправленный СВЧ-усилитель может быть построен на основе все тех же невзаимных устройств типа циркуляторов или направленных ответвителей. Функциональная схема

двунаправленного усилителя с использованием направленных сумматоров-разветвителей приведена на рис. 2.

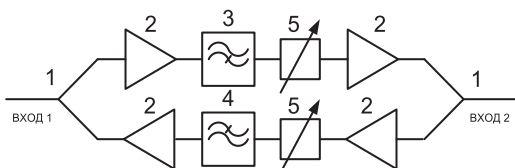


Рис. 2. Функциональная схема двунаправленного СВЧ-усилителя на основе направленных сумматоров-разветвителей: 1 – сумматор-разветвитель; 2 – усилитель; 3 – фильтр нижних частот; 4 – фильтр верхних частот; 5 – регулируемый аттенуатор

Двунаправленный усилитель работает следующим образом. При поступлении облучающего сигнала из антенны ретранслятора на ВХОД-1 двунаправленного усилителя он разветвляется на две равные части. Та часть облучающего сигнала, которая поступает в нижнюю ветвь схемы, рассеивается в выходных цепях нижнего левого усилителя 2, не оказывая заметного влияния на его работу в силу своей малости. Та часть облучающего сигнала, которая ответвляется в верхнюю ветвь схемы, поступает на вход верхнего левого усилителя 2, усиливается в нем и через фильтр верхних частот 3 и регулируемый аттенуатор 5 поступает на вход правого верхнего усилителя 2. Усиленный облучающий сигнал с выхода верхней ветви схемы поступает на верхний суммирующий вход правого сумматора-разветвителя 1 и далее на ВХОД-2 двунаправленного усилителя.

Усиленный и промодулированный в схеме циркуляции ответный сигнал возвращается на ВХОД 2 двунаправленного усилителя, вновь разветвляется и поступает на вход нижней ветви усиления. Усиленный в правом нижнем усилителе 2 ответный сигнал через фильтр нижних частот 4 поступает на левый нижний усилитель 2, дополнительно усиливается в нем, через нижний суммирующий вход левого сумматора-разветвителя 1 поступает на ВХОД-1 и далее на антенну для излучения в эфир.

Сложнее обстоит дело с той частью ответного сигнала, который поступает в верхнюю ветвь схемы. Поскольку уровень ответного сигнала, поступающего на выход правого верхнего усилителя 2 превышает уровень имеющегося в этом месте принятого сигнала, это может негативно сказаться на работе правого верхнего усилителя 2. Проблема может быть устранена путем включения дополни-

тельного вентиля на выходе правого верхнего усилителя 2.

Параметры фильтра верхних частот 3 и фильтра нижних частот 4 подобраны таким образом, чтобы обеспечивалась необходимая развязка за пределами рабочего диапазона частот направленных сумматоров-разветвителей 1. Место включения этих фильтров между двумя усилительными каскадами выбрано таким образом, чтобы вносимое ими в полосу заграждения рассогласование не нарушало работу сумматоров-разветвителей. В свою очередь, применяемые усилители должны иметь хорошее согласование по входу и выходу. Регулируемые аттенуаторы 5 предназначены для точной настройки коэффициентов усиления верхней и нижней ветвей двунаправленного усилителя так, чтобы достигнуть максимального усиления при сохранении устойчивости системы.

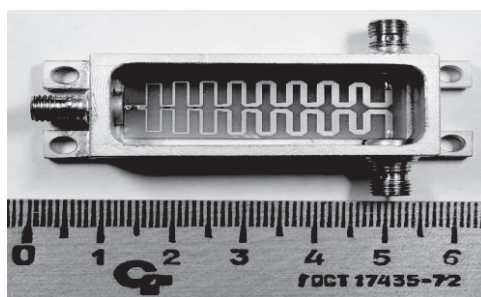


Рис. 3. Внешний вид 8-секционного направленного сумматора-разветвителя на микрополосковой линии

Для проверки работоспособности предложенной схемы двунаправленного СВЧ-усилителя был изготовлен и испытан соответствующий макет. В макете были использованы твердотельные усилительные модули типа NBB-310 компании RFnitro, фильтры HFCN-440 и LFCN-2250 компании Mini-Circuits, а также восьмисекционные направленные сумматоры-разветвители, внешний вид и топология которых приведена на рис. 3.

Результаты измерения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) передачи со ВХОДА-1 на ВХОД-2 и передачи со ВХОДА-2 на ВХОД-1 приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно. Как следует из приведенных АЧХ передачи между входами 1 и 2 в диапазоне частот от 450 МГц до 2000 МГц, макет работает как двунаправленный СВЧ-усилитель с суммарным коэффициентом усиления при прохождении сигнала в обоих направлениях порядка 15 дБ.

Заметная по графикам изрезанность АЧХ связана с тем обстоятельством, что для макетирования использовались отдельные функциональные узлы, соединенные весьма протяженным СВЧ-

трактом. Из-за возникающих в тракте фазовых набегов обратная связь в двунаправленном усилителе имеет знакопеременный характер, что и является причиной изрезанности АЧХ. Очевидно, что для получения возможно более гладкой характеристики необходимо строить двунаправленные СВЧ-усилители минимально возможной электрической длины. Требуемая минимальная электрическая длина может быть достигнута при конструировании двунаправленного усилителя в виде одноплатного комплексированного микрополоскового устройства, содержащего все необходимые функциональные элементы.

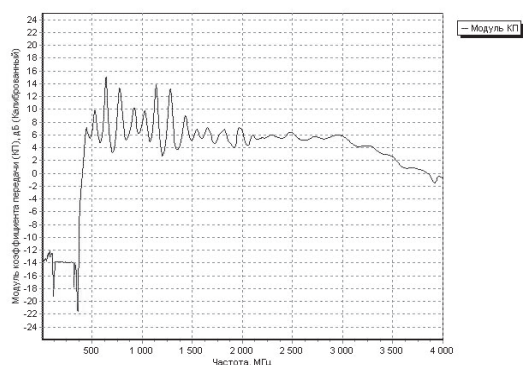


Рис. 4. АЧХ передачи со ВХОДА-1 на ВХОД-2 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на направленных сумматорах-разветвителях

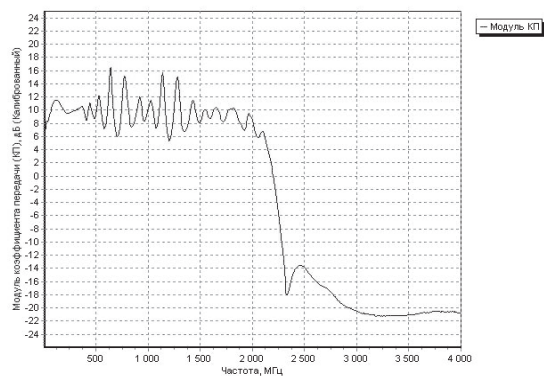


Рис. 5. АЧХ передачи со ВХОДА-2 на ВХОД-1 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на направленных сумматорах-разветвителях

Очевидным недостатком использования направленных сумматоров-разветвителей в схеме двунаправленного усилителя является наличие в них потерь на суммирование-разветвление сигналов величиной 3-4 дБ. Наличие этих потерь приводит к снижению суммарного коэффициента усиления двунаправленного усилителя на 12-16 дБ. Поскольку ферритовые циркуляторы имеют значительно меньшие прямые потери (не более 1 дБ), следует ожидать, что двунаправленный усилитель, построенный с использованием фер-

ритовых циркуляторов, будут иметь значительно большее суммарное усиление: порядка 30 дБ.

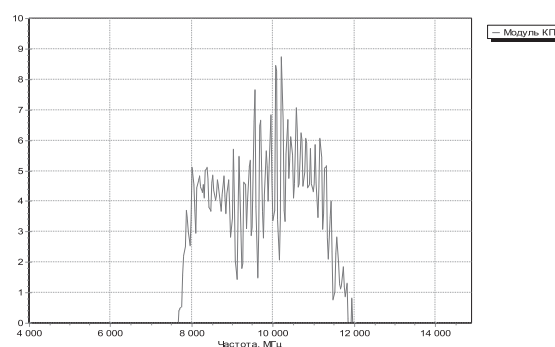


Рис. 6. АЧХ передачи со ВХОДА-1 на ВХОД-2 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на ферритовых циркуляторах

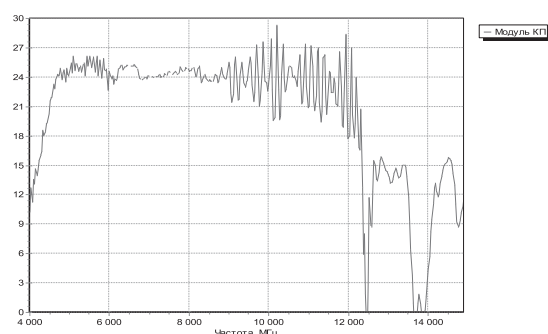


Рис. 7. АЧХ передачи со ВХОДА-2 на ВХОД-1 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на ферритовых циркуляторах

Для проверки этого предположения был изготовлен и испытан макет двунаправленного СВЧ-усилителя с использованием широкополосных ферритовых циркуляторов типа ФЦК2-69 производства НПО «Феррит», г. Санкт-Петербург.

Ферритовые циркуляторы ФЦК2-69 обеспечивают развязку порядка 20 дБ в диапазоне частот 6-12 ГГц при прямых потерях не более 1 дБ в том же диапазоне. Для обеспечения устойчивости за пределами указанного диапазона был использован полосно-пропускающий фильтр на полосу частот 8-12 ГГц. АЧХ прохождения сигнала со ВХОДА-1 на ВХОД-2 и в обратном направлении приведены на рис. 6 и рис. 7 соответственно.

Как следует из приведенных данных, в диапазоне частот 8-12 ГГц макет работает как двунаправленный СВЧ-усилитель с суммарным коэффициентом усиления порядка 28 дБ при прохождении сигнала в обоих направлениях. Имеющая место асимметрия АЧХ объясняется использованием аттенуаторов на входе и выходе полосового фильтра для его согласования в полосе заграждения

Выводы

1. Коэффициент усиления одноантенного ретранслятора может быть существенно увеличен путем включения в его фидерный тракт двунаправленного СВЧ-усилителя, построенного на основе направленных сумматоров-разветвителей или ферритовых циркуляторов.

2. Двунаправленные усилители, построенные на основе ферритовых циркуляторов, уступая по широкополосности двунаправленным СВЧ-у-

силителям на направленных сумматорах-разветвителях, значительно превосходят их по коэффициенту усиления.

Литература

1. Хуако Р.А. Исследование возможности построения одноантенного ретранслятора с коэффициентом усиления больше единицы // ИКТ. Т.10, №2, 2012. – С. 76-79.

BIDIRECTIONAL MICROWAVE AMPLIFIER

Aminov V.P., Khuako R.A.

The article research questions the possibilities of building bidirectional microwave amplifier which works without timers or frequencies divided amplifiers signals where considered. The characteristics of bidirectional amplifier on bases directional coupler and ferrites circulators are discovered and analyzed.

Keywords: *bidirectional amplifier; directional coupler; circulator; filters; coefficient of amplifier.*

Аминов Валерий Павлович, генеральный директор ООО «РЕНОМ» (г. Москва). Тел. (8-495) 454-11-59; 708-68-43. E-mail: renom@mail.ru

Хуако Руслан Асланович, инженер 1-ой категории ОАО НИРТИ (г. Калуга). Тел. 8-903-636-10-51; 8-910-915-92-21. E-mail: bgd49@mail.ru

УДК 621.397.2.037.372

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ ОДНОЧАСТОТНОЙ СЕТИ СТАНДАРТА DVB-T2

Калиновский Д.А., Карякин В.Л., Карякин Д.В., Сидоренко О.И.

Статья посвящена методам обеспечения синхронизации передатчиков отечественного и зарубежного производства одночастотной сети второго поколения цифрового телевизионного вещания. Приведена реализация синхронной работы передатчиков ООО «Триада» в сетях SFN.

Ключевые слова: сеть SFN, DVB-T2, синхронизация, задержки, компенсация задержек, мультиплекс.

Введение

В настоящее время большинство радиотелевизионных центров уже оснащено передатчиками отечественных и зарубежных производителей. Во многих регионах осуществляется тестовое вещание первого мультиплекса в стандарте второго поколения DVB-T2 (DVB system for Terrestrial broadcasting). Однако при переходе от локального вещания к вещанию в SFN (Single Frequency Network) сетях возникают проблемы, связанные с синхронизацией передатчиков.

Для синхронизации работы передатчиков в одночастотных сетях цифрового вещания SFN используется Глобальная система позициониро-

вания GPS (Global Positioning System), обеспечивающая высокостабильную опорную частоту возбуждателей передатчиков 10 МГц и тактовые импульсы сигнальных процессоров с частотой 1 Гц [1]. Важным требованием является также обеспечение равенства задержек информации от источника до антенн передатчиков (см. рис. 1, где РПД – радиопередатчик; РПУ – радиоприемник; РЧК – радиочастотный канал; N – номер радиопередатчика в сети; M – номер радиоприемника в сети; j – номер телевизионного канала).

Цель работы – рассмотрение видов задержек информационного сигнала (ИС) и методов обеспечения синхронной работы передатчиков в SFN-сетях цифрового телерадиовещания второго поколения, построенных на передатчиках зарубежного и отечественного производства.

Временные диаграммы задержек информационного сигнала

На рис. 2 представлены этапы прохождения ИС от Центра мультиплексирования (источник информации) до антенны передатчика. Рассмотрим основные виды задержек ИС.