

Рис. 6. Дискретная плотность распределения МИ, суммы $N = L + 1 = 16$ чипов

Тогда вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош.бит}}$ – это вероятность того, что $\sum_{k=0}^N \alpha_k \geq N$:

$$P_{\text{ош.бит}} = P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k < -N\right\}q + P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k \geq N\right\}(1-q),$$

где q – вероятность появления информационного (модулирующего) символа «1» (предполагается, что эта вероятность одинакова в каждом из L каналов. При $q = 0,5$ плотность вероятности $W_\alpha(\alpha)$ будет симметричной и

$$\begin{aligned} P_{\text{ош.бит}} &= P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k < -N\right\}q + P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k > N\right\}(1-q) + \\ &+ P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k = N\right\}(1-q) = \\ &= P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k > N\right\} + P\left\{\sum_{k=0}^N \alpha_k = N\right\}(1-q). \end{aligned}$$

Графики вероятности битовой ошибки для $s = 1, p = 1; 2; 10, N = 16$ представлены на рис. 7.

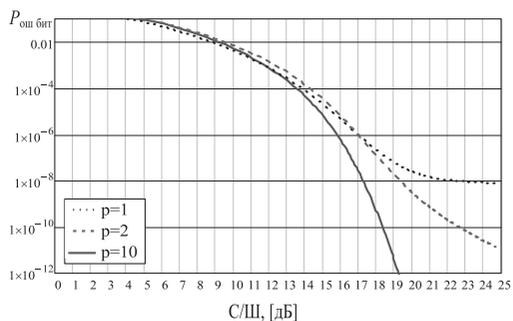


Рис. 7. Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения СШ

Заключение

Предложенная методика расчета и полученные с ее помощью графики позволяют более точно рассчитать требуемое отношение СШ на входе приемника при использовании нелинейных устройств в групповом или канальном тракте. Полученные результаты могут быть полезны при разработке систем связи с кодовым разделением каналов.

Литература

1. Гуревич В.Э., Егоров С.Г. Нелинейные искажения группового сигнала в радиосистеме абонентского доступа // ИКТ. Т.10, №3, 2012. – С.15-18.
2. Rapp C. Effects of HPA-Nonlinearity on a 4-DPSK/OFDM-Signal for a Digital Sound Broadcasting System // Proceedings of the Second European Conference on Satellite Communications. Liege, Belgium, Oct. 22-24, 1991. – P. 179-184.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
4. Сахарчук С.И. О плотности вероятности массы искажений // Труды учебных институтов связи. Вып. 68. Изд. ЛЭИС, 1974. – С. 186-192.

ERROR RATE ANALYSIS OF MULTIPLEXED SIGNAL IN IMPERFECT WIRELESS LOCAL SYSTEM

Egorov S.G.

The paper deals with the problem of analyzing the nonlinear distortions caused by the high power amplifier (or other nonlinear devices) and additive gaussian noise in direct-sequence code-division multiple access (DS-CDMA) systems. The results of analysis are presented in the form of bit error rate vs signal-to-noise ratio and chip error rate vs signal-to-noise ratio characteristics.

Keywords: nonlinear distortions, nonlinear amplifier, DS-CDMA, spread spectrum signals, symbol error rate.

Егоров Станислав Геннадьевич аспирант Кафедры «Радиотехнические системы» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича. Тел. (8-812) 315-87-29; 252-71-02. E-mail: sgegorov@gmail.com

ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ

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] 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 приведены на рис 1.

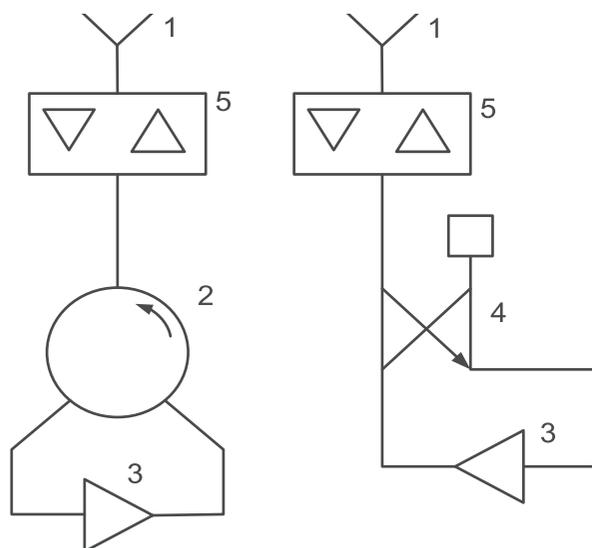


Рис. 1. Функциональные схемы усовершенствованных одноантенных ретрансляторов с использованием двунаправленных усилителей в фидерном тракте: 1 – антенна; 2 – циркулятор; 3 – усилитель; 4 – направленный ответвитель; 5 – двунаправленный усилитель

Ниже рассматривается возможность построения двунаправленного СВЧ-усилителя, который может быть построен на основе невзаимных устройств типа циркуляторов или направленных ответвителей. Функциональная схема двунаправленного усилителя с использованием направленных сумматоров-разветвителей приведена на рис. 2.

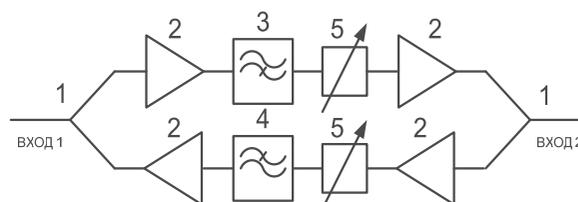


Рис. 2. Функциональная схема двунаправленного СВЧ-усилителя на основе направленных сумматоров-разветвителей: 1 – сумматор-разветвитель; 2 – усилитель; 3 – фильтр нижних частот; 4 – фильтр верхних частот; 5 – регулируемый аттенюатор

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 аттенюатор 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 дополнительного 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 аттенюаторы 5 предназначены для точной настройки коэффициентов усиления верхней и нижней ветвей двунаправленного усилителя так, чтобы достигнуть максимального усиления при сохранении устойчивости системы.

Для проверки работоспособности предложенной схемы двунаправленного 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.

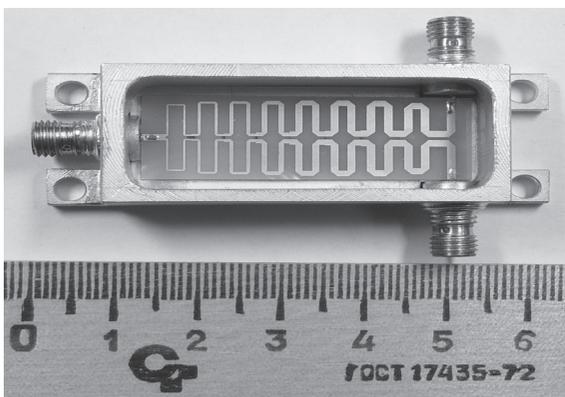


Рис. 3. Внешний вид 8-секционного направленного сумматора-разветвителя на микрополосковой линии

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.

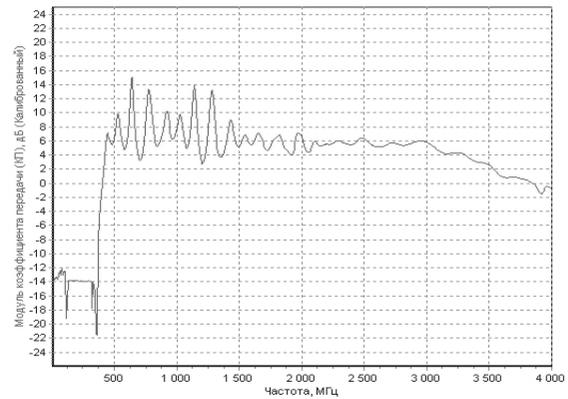


Рис. 4. АЧХ передачи со входа 1 на вход 2 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на направленных сумматорах-разветвителях

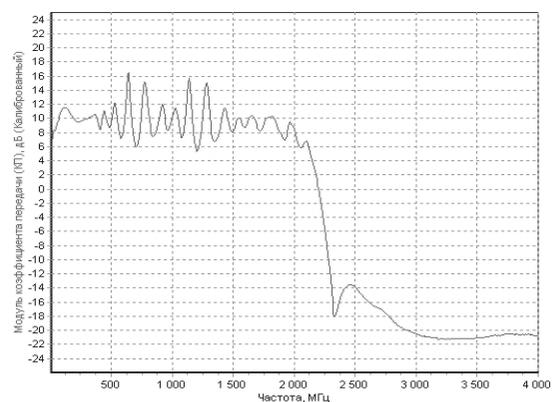


Рис. 5. АЧХ передачи со входа 2 на вход 1 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на направленных сумматорах-разветвителях

Как следует из приведенных амплитудно-частотных характеристик передачи, между входами 1 и 2 в диапазоне частот от 450 МГц до 2 ГГц макет работает как двунаправленный СВЧ-усилитель с суммарным коэффициентом усиления при прохождении сигнала в обоих направлениях около 15 дБ. Заметная на графиках изрезанность АЧХ связана с тем обстоятельством, что для макетирования использовались отдельные функциональные узлы, соединенные весьма протяженным СВЧ-трактом. Из-за возникающих в протяженном тракте фазовых набегов обратная связь в двунаправленном усилителе имеет знакопеременный характер, что и является причиной изрезанности АЧХ. Очевидно, что для получения возможно более гладкой АЧХ 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.

Очевидным недостатком использования направленных сумматоров-разветвителей в схеме двунаправленного усилителя является наличие в них потерь на суммирование/разветвление с 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 (менее 1 дБ), следует ожидать, что двунаправленный усилитель, построенный с использованием ферритовых циркуляторов, будет иметь значительно большее суммарное усиление – порядка 30 дБ.

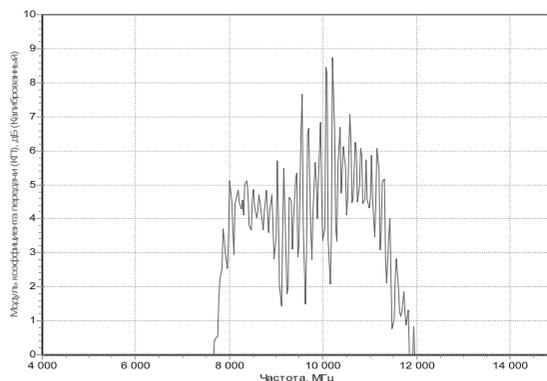


Рис. 6. АЧХ передачи со входа 1 на вход 2 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на ферритовых циркуляторах

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 около 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 частот был использован полосно-пропускающий фильтр на полосу частот 8-12 ГГц. Графики 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 характеристик, 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 характеристик объясняется использованием аттенуаторов на входе и выходе полосового фильтра для его согласования в полосе заграждения.

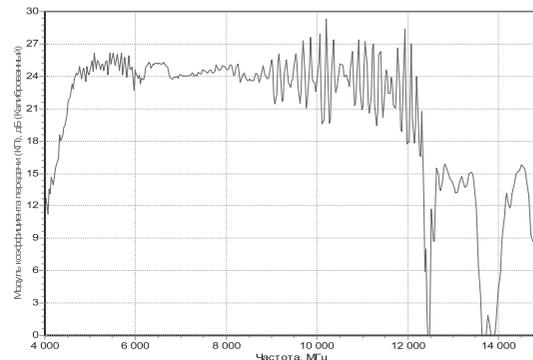


Рис. 7. АЧХ передачи со входа 2 на вход 1 макета двунаправленного СВЧ-усилителя на ферритовых циркуляторах

Выводы

Коэффициент усиления одноантенного ретранслятора может быть существенно увеличен путем включения в его фидерный тракт двунаправленного усилителя, построенного на основе направленных сумматоров-разветвителей или ферритовых циркуляторов. Двунаправленные усилители, построенные на основе ферритовых циркуляторов, уступая по широкополосности двунаправленным усилителям 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

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.

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