

РАДИОСВЯЗЬ

УДК 621.391

НОВЫЙ СПОСОБ ДУПЛЕКСНОЙ СВЯЗИ

М.А. Быховский, профессор МТУСИ, д.т.н.; mark_bykh@hotmail.com

Предлагается новый вид дуплексной связи, основанный на разделении передаваемого и принимаемого на каждой радиостанции сети связи сигналов по направлению их распространения (на соседнюю станцию/от соседней станции). При реализации метода в антенно-фидерном тракте каждой станции применяются циркуляторы и компенсаторы помех (КП). С помощью КП помеха, проникающая в тракт приема от своего передатчика из-за несовершенства циркуляторов, подавляется. Дана оценка необходимого числа КП, обеспечивающих необходимое для качественного приема сигналов подавление в тракте приема помех, создаваемых своим передатчиком. Предлагаемый метод позволяет в два раза повысить эффективность использования радиочастотного спектра по сравнению с традиционными системами с частотным и временным дуплексом.

Ключевые слова: эффективность использования радиочастотного спектра, дуплексная связь, компенсаторы помех.

Введение. Одна из важнейших проблем радиосвязи — повышение эффективности использования радиочастотного спектра (РЧС). В современных системах двухсторонней связи (спутниковой, радиорелейной, подвижной) широко применяется частотный дуплекс (FDD), когда для передачи сигналов в разных направлениях (исходящем и входящем) используются два частотных канала. Во многих цифровых системах связи, в частности в системах подвижной связи стандарта DECT, применяется временной дуплекс (TDD), при котором по одному частотному каналу часть времени (например, половина) занята передачей сообщения в одном направлении, а другая часть — в противоположном [1].

В 1998 г. специалистами компании Comtech EF Data (США) был предложен принципиально новый метод повышения эффективности использования полосы частот ретранслятора [2] в системах спутниковой связи типа VSAT. Этот метод, названный PCMA — Paired Carrier Multiple Access (метод многостанционного доступа со вдвоенной несущей — МДСН), позволял сразу двум земным станциям (ЗС) использовать одну полосу частот, один временной интервал или один CDMA-код для передачи сигналов на ретранслятор; другую полосу частот или другой временной интервал — для передачи сигналов от ретранслятора к обеим ЗС. По сравнению с методами многостанционного доступа с FDD или TDD эта система давала возможность удвоения пропускной способности спутниковых систем в терминах (бит/с)/Гц при минимальном увеличении отношения сигнал/шум, необходимом для обеспечения заданной вероятности ошибок при приеме сигналов.

Постановка задачи. Суть технологии [2] поясняется схемой рис. 1. Как видно из рисунка, на линии связи между двумя ЗС₁ и ЗС₂ в направлении на космический аппарат (КА) сообщения $S_1(t)$ и $S_2(t)$ передаются на одной и той же частоте f_1 .

Оба эти сообщения, складываясь в ретрансляторе, усиливаются, и суммарный сигнал $W(t) = [S_1(t-\tau) + S_2(t-\tau)]$ излучается в эфир в сторону Земли на частоте f_2 . Этот сигнал поступает на вход ЗС с задержкой, равной τ — времени распространения на трассе ЗС→ИСЗ→ЗС. Для того чтобы, например, на ЗС₂ выделить сигнал $S_1(t)$, посланный ей ЗС₁, в принятом сигнале $W(t)$ следует компенсировать переданный станцией ЗС₂ на станцию ЗС₁ сигнал $S_2(t-\tau)$, так как он создает помеху приему сигнала $S_1(t-\tau)$. Однако на станции ЗС₂ сигнал $S_2(t-\tau)$ известен, что позволяет на этой станции сформировать его копию $S_2(t-\tau)$, которая вычитается из принятого сигнала $W(t)$. Затем сигнал $S_1(t-\tau)$ и остаток от неполной компенсации принятого сигнала $S_2(t-\tau)$ поступают на демодулятор ЗС₂. Эксперименты показали, что неполная компенсация собственных сигналов в системе МДСН не приводит к заметному ухудшению качества приема сигнала $S_1(t-\tau)$.

Особенность технологии МДСН заключается в том, что она применима только в системах типа VSAT, где сигналы, передаваемые обоими станциями ЗС₁ и ЗС₂ в прямом (исходящем) канале, усиливаются одним общим ретранслятором и их усиленная в ретрансляторе сумма излучается в дуплексном канале в направлении этих же станций. При этом следует отметить, что на входе приемников этих станций сигналы $S_1(t-\tau)$ и $S_2(t-\tau)$, передаваемые в одном дуплексном канале связи и входящие в состав сигнала $W(t)$, имеют близкие уровни.

В большинстве же наземных радиосистем используется другая технология, когда излучение передаваемых (исходящих) станцией сигналов $S_1(t)$ осуществляется в одном направлении, а прием этой же станцией сигналов $S_2(t)$ в дуплексном канале — с другого направления. При этом уровни переданных в исходящем канале и принятых в дуплексном канале сигналов отличаются весьма значительно. В современных системах связи с FDD или TDD разделение переданных и принятых сигналов осуществляется в резуль-

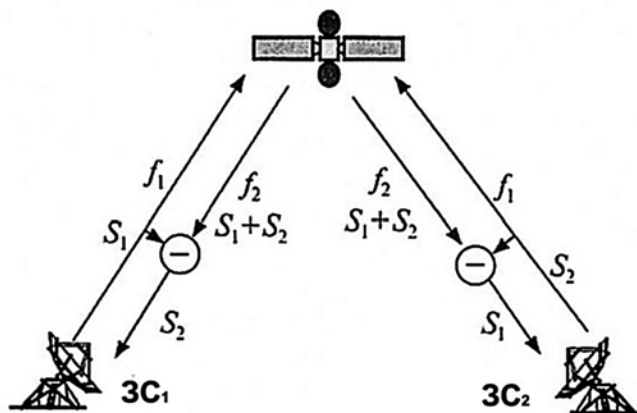


Рис. 1. Схема, поясняющая суть технологии МДСН

тате их передачи в разных полосах частот или в разные моменты времени.

Однако, как показано ниже, в наземных системах, так же как и в системе спутниковой связи с МДСН, можно повысить эффективность использования полосы частот канала связи в два раза, используя только один частотный канал для организации исходящего и дуплексного канала, в котором сигналы передаются станциями непрерывно и одновременно в противоположных направлениях. Такой метод двухсторонней связи можно назвать направленным дуплексом (Directional Division Duplex — DDD), так как для разделения принимаемого и передаваемого сообщений на каждой станции используются отличия в направлениях распространения принимаемого и передаваемого сигналов [3].

Описание предлагаемого способа дуплексной связи. Идея предлагаемого способа дуплексной связи поясняется схемой рис. 2, на которой обозначено: 1 — антенна, 2 — Y-циркулятор, 3 — приемник, 4 — передатчик.

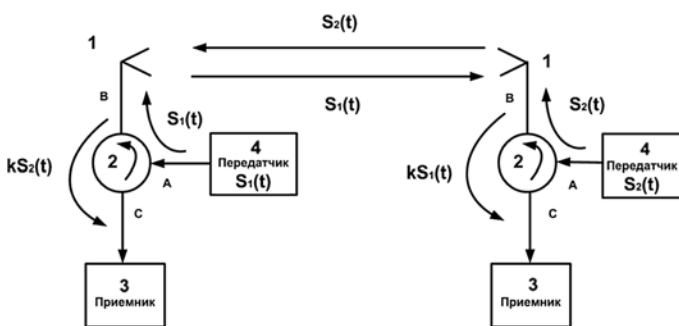


Рис. 2. Схема дуплексной связи

При распространении радиоволн в радиоканале принимаемый с соседней станции сигнал ослабляется. Коэффициент ослабления мощности переданного со станции 2 сигнала в канале связи, как показано на рис. 2, равен $10\lg k^2$. На практике (например, в радиорелейной связи) это ослабление может составлять примерно ≈ -100 дБ.

В передатчиках 4 обеих станций формируются сигналы $S_1(t)$ и $S_2(t)$, передаваемые в эфир через антенны 1 на соседней станции по общему частотному каналу в противоположных направлениях. На каждой станции для разделения трактов передачи и приема применяются Y-циркуляторы [4], обладающие тем свойством, что сигнал передатчика, подаваемый на порт А циркулятора, проходит на его порт В и далее поступает в антенну 1, излучающую его на соседнюю станцию.

Сигнал соседней станции, принимаемый той же антенной 1, поступает в порт В циркулятора, передается в порт С и далее поступает на вход приемника 3. Если бы циркулятор был идеальным и обеспечивал полную развязку портов А, В и С, а следовательно, и полную развязку передаваемого и принимаемого сигналов на обеих станциях, то стала бы возможной реализация направленного дуплекса. Однако циркуляторов, обеспечивающих полную развязку сигналов, поступающих на их порты, не существует. Реальные циркуляторы, выпускаемые промышленностью, обеспечивают развязку портов Y-циркулятора всего на $\gamma_0 = -(30 \div 40)$ дБ. Поэтому в системах спутниковой [5] или радиорелейной связи [6] циркуляторы применяются для снижения требований к частотным характеристикам фильтров, устанавливаемых на выходе С циркулятора

в тракте приема сигналов для подавления частотных составляющих, лежащих за пределами их полосы пропускания. Эти фильтры служат для разделения сигналов собственно передатчика и принимаемого полезного сигнала в дуплексном канале.

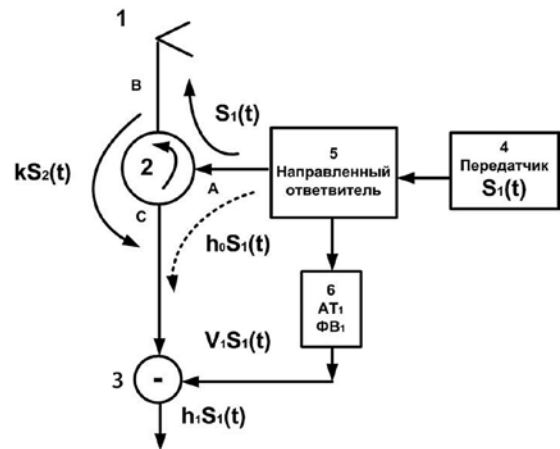


Рис. 3. Схема применения КП для подавления сигнала $S_1(t)$, проникающего в тракт приема

Однако существует возможность значительно увеличить подавление сигнала $S_1(t)$ передатчика в тракте приема полезного сигнала $S_2(t)$. Для этого можно использовать устройство, схема которого показана на рис. 3. Как видно из рисунка, для дополнительного подавления сигнала $S_1(t)$ в тракте приема сигнала $S_2(t)$ применяется компенсатор помех (КП), т.е. к порту С циркулятора, на выходе которого действует сигнал

$$W_c(t) = kS_2(t) + h_0S_1(t), \tag{1}$$

подключен КП, в котором применены: 5 — направленный ответвитель, 6 — аттенюатор (AT_1) и фазовращатель (ΦB_1). В качестве КП может быть использовано автоматическое устройство, описанное в [7, 8].

Направленный ответвитель размещается на выходе передатчика, и с его помощью небольшая часть мощности передатчика V_1 отводится в тракт компенсации помехи. Коэффициент передачи направленного ответвителя устанавливается примерно равным $V_1 \cong h_0$, а фазовращатель устанавливает фазу сигнала, вводимого в приемный тракт, примерно равной фазе помехи $h_0S_1(t)$, проникающей от передатчика в порт С циркулятора.

В результате на выходе первой ступени КП будет действовать сигнал

$$W_{1КП}(t) = kS_2(t) + h_1S_1(t). \tag{2}$$

При этом $h_1^2 = (h_0 - V_1)^2 \ll h_0^2$, т.е. уровень помехи на выходе первой ступени КП (т.е. на выходе вычитателя на рис. 3) намного меньше уровня помехи на выходе порта С циркулятора. Современными техническими средствами можно обеспечить подавление помехи в одной ступени КП

$$\gamma = 10\lg \left(\frac{h_1^2}{h_0^2} \right) \approx -(30 - 40) \text{ дБ.}$$

Учитывая, что уровень принимаемого сигнала $S_2(t)$, как правило, весьма мал ($10\lg k^2 \approx -100$ дБ), то одной ступени КП может оказаться недостаточно для получения на

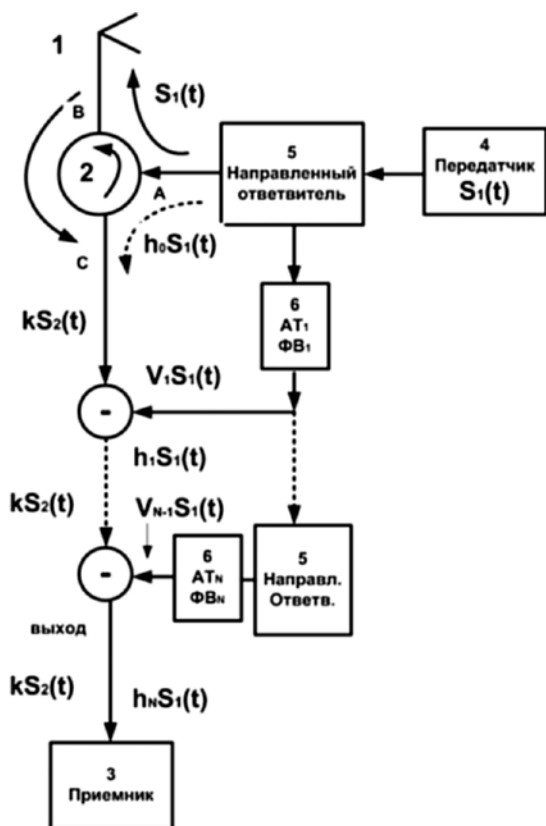


Рис. 4. Схема использования нескольких КП для подавления сигнала $S_1(t)$, проникающего в тракт приема

входе приемника приемлемого отношения сигнал/помеха $A \approx 15 \div 20$ дБ. Для того чтобы добиться необходимой степени ослабления помехи в тракте приема полезного сигнала, следует использовать несколько последовательно включенных КП, как это показано на рис. 4.

Если в m -й ступени коэффициент V_m передачи АТ $_m$ и фазу ФВ $_m$ выбирать такими, чтобы $V_m \approx h_{(m-1)}$, то на входе $(m+1)$ -го КП будет действовать сигнал

$$W_{КП(m+1)}(t) = kS_2(t) + h_{m+1}S_1(t). \quad (3)$$

При этом $h_{m+1}^2 = (h_{m-1} - V_m)^2 \ll h_{m-1}^2$.

Оценка необходимого числа ступеней КП в устройстве, реализующем способ DDD. Оценим необходимое количество ступеней КП (N) для получения требуемого отношения сигнал/помеха $A \approx 15 \div 20$ дБ на входе приемника. В каждой ступени КП помеха ослабляется на $10 \lg(h_m^2/h_{m+1}^2) = \gamma$ дБ. Кроме того, помеха в тракте приема сигнала $S_2(t)$ ослабляется на γ_0 дБ в циркуляторе. Таким образом общее ослабление помехи на выходе N -й ступени КП составляет

$$10 \lg(h_N^2) = N\gamma + \gamma_0. \quad (4)$$

Отсюда следует, что для того, чтобы на входе приемника сигнала $S_2(t)$, показанного на рис. 4, выполнялось условие $A = 10 \lg(k^2/h_m^2) \geq 15 \div 20$ дБ, количество ступеней

КП в системе приема должно определяться из следующего уравнения

$$A = 10[\lg k^2 - \lg h_N^2] = 10 \lg k^2 - N\gamma - \gamma_0. \quad (5)$$

Отсюда находим

$$N = \left\lceil \frac{10 \lg(k^2 - \gamma_0 - A)}{\gamma} \right\rceil. \quad (6)$$

Если $A = (10 \div 20)$, $10 \lg k^2 \approx -100$ дБ, а $\gamma = \gamma_0 = -(30 \div 40)$ дБ, то из (6) следует

$$N = [(-115 + 30)/-30] \div [(-120 + 40)/-40] = 3 \div 2.$$

Таким образом, в рассмотренном устройстве при применении в нем циркуляторов и компенсаторов помех, имеющих типовые параметры подавления помех, достаточно использовать всего лишь две-три ступени КП для обеспечения качественного приема полезных сигналов.

Следует отметить, что в циркуляторе, а также в каждом из КП полезный сигнал ослабляется. В современных устройствах это ослабление может достигать до 0,5 дБ. Поэтому в рассмотренном устройстве суммарное ослабление сигнала в тракте приема с двумя КП может составить 1,5 дБ.

Заключение. Способ дуплексной связи, названный пространственным дуплексом (DDD) и описанный в данной работе, обладает по отношению к способам FDD и TDD тем преимуществом, что сигналы в обоих направлениях могут передаваться в одном и том же частотном канале без разделения по времени, что позволяет повысить эффективность использования радиочастотного спектра в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Быховский М.А.** Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем. — М.: Горячая линия — Телеком, 2014.
2. **Прокис Дж.** Цифровая связь. — М.: Радио и связь, 2000
3. **Bykhovskiy M. A.** New Method of Duplex Communication. СПб: ЛЭТИ, 9-th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology. — September 13–16.—2011.
4. **Сомов А.М., Старостин В.В., Кабетов Р.В.** Антенно-фидерные устройства. — М.: Горячая линия — Телеком, 2011.
5. **Спутниковая связь и вещание/Под ред. Л.Я. Кантора.** — М.: Радио и связь, 1997.
6. **Справочник по радиорелейной связи/Под ред. С.В. Бородин.** — М.: Радио и связь, 1981.
7. **Быховский М.А.** Развитие телекоммуникаций. На пути к информационному обществу. Развитие радиотехники и знаний о распространении радиоволн в XX столетии. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.
8. **Howells P.W.** Intermediate Frequency Sidelobe Canceller, Patent US 3202990, H01Q3/26, H04B1/26.

Получено 2.06.14