

УДК 621.393.3

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНВАРИАНТНОГО ЭХОКОМПЕНСАТОРА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ

Абрамов С.С.

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,  
Новосибирск, e-mail: abramov@sibsutis.ru*

Дуплексная передача сигналов по каналам связи с двухпроводным окончанием широко используется в системах телекоммуникаций. При разработке дуплексных систем важной задачей является компенсация эхосигналов передатчика, возникающих на входе приёмника из-за неидеальности развязки трактов передачи и приёма как на ближнем, так и на дальнем конце связи. Соответственно, говорят о ближнем и дальнем эхе. Наиболее широко используемым в настоящее время способом подавления эхо-сигналов является компенсационный метод, позволяющий осуществлять передачу и приём сигналов в общей полосе частот. Суть его состоит в генерации копий сигналов эха и вычитании их из поступающей на вход приёмника суммы сигналов эха и сигналов от противоположной стороны системы передачи. Генерация копий сигналов эха может осуществляться, например, с помощью модели эхотракта в виде трансверсального фильтра или путём выборки необходимых образцов эхосигналов из блока памяти при табличном методе компенсации. В первом случае для работы эхокомпенсатора требуется производить большое количество операций умножения и сложения, а во втором – необходим большой объём памяти для хранения всех возможных образцов эхосигналов. Необходимость уменьшения этих недостатков стимулирует поиск других методов эхокомпенсации. В данной работе исследуется новый класс инвариантных эхокомпенсаторов, которые используют основной инвариант эхотракта – отношение длин векторов сигналов одинаковой формы (отличающихся только скалярным множителем). Однако у базовых схем инвариантных эхокомпенсаторов отсутствует свойство адаптивности. Автор предлагает способ модернизации, обеспечивающий свойство адаптивности.

**Ключевые слова:** инвариантные эхокомпенсаторы, дуплексные системы связи, свойство адаптивности

## ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE INVARIANT ECHO CANCELLER IN A CHANGING LINK PARAMETERS

Abramov S.S.

*Siberian State University of Telecommunications and Informatics Sciences,  
Novosibirsk, e-mail: abramov@sibsutis.ru*

Duplex signaling channels on the two-wire end is widely used in telecommunication systems. In the development of duplex systems is an important task echo cancellation transmitter arising at the receiver input of non-ideal decoupling paths of transmission and reception on the near and the far end of the link. Consequently, talking about the near and far echo. The most widely used method is currently echo cancellation is a compensation method to transmit and receive signals in a common frequency band. Its essence consists in the generation of copies of the echo signals and subtract them from the input to the receiver sums the echo signals and the signals from the opposite side of the transmission system. The generation of copies of the echo signals may, for example, using a model of the echo path in the form of a transversal filter, or by sampling the necessary samples echoes from the memory table with the payment method. In the first case for the echo canceller is required to produce a large number of multiplications and additions, and the second – requires a large amount of memory to store all possible samples of the echo signal. The need to reduce these shortcomings stimulates the search for other methods of echo cancellation. In this paper, we study a new class of invariant echo compensators that use the basic invariant echo path – the ratio of the lengths of the vectors of signals of the same shape (which differ only by a scalar factor). However, the basic schemes invariant echo canceller is not the property of adaptability. We offer a way to modernization, the property provides adaptability.

**Keywords:** invariant echo cancellers, duplex communication system, adaptability property

В настоящее время существуют несколько различных способов эхокомпенсации, отличающиеся сложностью реализации, точностью компенсации и т.п. Одним из способов является инвариантная эхокомпенсация, подкупающая своей простотой реализации. Однако она мало изучена, поэтому представляет научный и практический интерес оценка количественных характеристик и параметров, что и проделано в данной работе.

В реальных условиях работы инвариантного эхокомпенсатора следует учитывать воздействие на режим его функциони-

рования множества факторов: изменения температуры, изменения параметров используемого канала связи и т.д. Очевидно, что в результате этих неконтролируемых изменений будет происходить варьирование параметров эхотрактов.

Оценим, каким образом это повлияет на качество работы инвариантного эхокомпенсатора, а именно на величину погрешности компенсации эха.

Для этого рассмотрим преобразования отсчетов сигналов в упрощенной схеме инвариантного эхокомпенсатора (рис. 1).

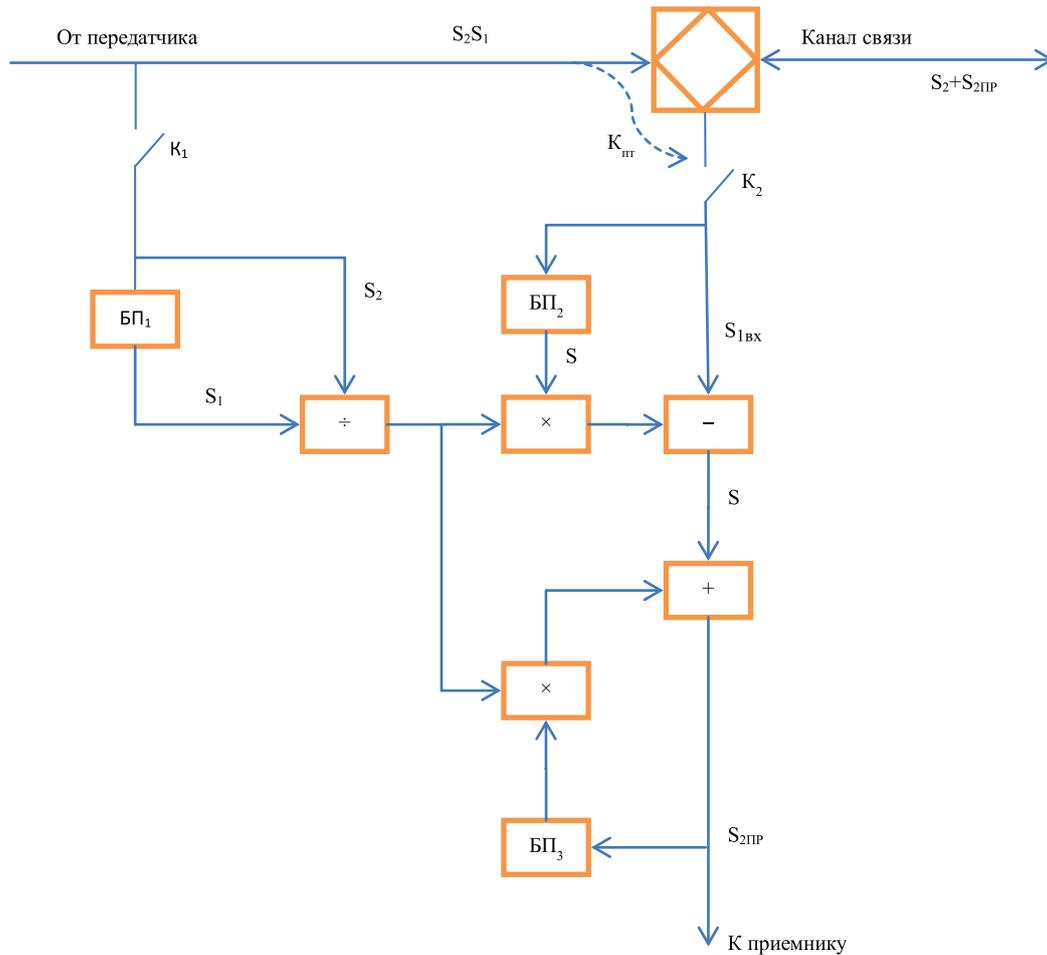


Рис. 1. Упрощенная схема инвариантного эхокомпенсатора

В этой схеме компенсация эха осуществляется путем обработки временных отсчетов сигналов, которые формируются ключами  $K_1$  и  $K_2$ .

В блоках памяти  $BP_1$ ,  $BP_2$  и  $BP_3$  осуществляется хранение временных отсчетов в течение времени, равного интервалу дискретизации. Эта упрощенная схема работает следующим образом.

Перед сеансом связи схема подвергается обучению. С этой целью передатчик передает обучающий короткий импульс  $S_{об}$ , который проходит через паразитный эхотракт дифференциальной системы и записывается в блок памяти  $BP_2$  в виде импульса

$$S'_{об} = K_{пт} S_{об},$$

где  $K_{пт}$  – коэффициент ослабления импульсов паразитного эхотракта. Блок памяти  $BP_3$  в это время обнулен. Облуча-

ющий импульс через ключ  $K_1$  поступает также в блок памяти  $BP_1$ . Затем начинается рабочий режим.

Рассмотрим передачу двух следующих друг за другом временных отсчетов  $S_1$  и  $S_2$  передаваемого сигнала. Первый отсчет будет передан в канал, кроме того, он пройдет через паразитный эхотракт и поступит на вход вычитателя вместе с отчетом  $S_{1пр}$  сигнала, принимаемого от противоположной стороны. Таким образом, на верхний вход вычитателя поступит следующая сумма:

$$S_{1вх}^- = S_{1эхо} + S_{1пр} = K_{пт} S_1 + S_{1пр}. \quad (1)$$

На второй вход вычитателя придет сигнал

$$S_{2вх}^- = \frac{S_1}{S_{об}} S'_{об} = \frac{S_1}{S_{об}} K_{пт} S_{об} = K_{пт} S_1. \quad (2)$$

На выходе вычитателя появится следующий результат:

$$S_{вых}^- = S_{1вх}^- - S_{2вх}^- = K_{пт} S_1 + S_{1пр} - K_{пт} S_1 = S_{1пр}. \quad (3)$$

Как видно из результата, на данном этапе имеет место полное подавление эха.

Продолжим анализ работы схемы на втором этапе, когда от передатчика поступает второй отсчет  $S_2$ .

В конце первого такта величина  $S_{12\text{XO}} + S_{1\text{ПР}} = K_{\text{ПТ}} S_1 + S_{1\text{ПР}}$  была записана в блок памяти БП<sub>2</sub>,  $S_{1\text{ПР}}$  – в БП<sub>3</sub>, а  $S_1$  – в БП<sub>1</sub>. На втором такте на первый вход вычитателя поступит сумма

$$S_{1\text{ВХ}}^- = S_{2\text{XO}} + S_{2\text{ПР}} = K_{\text{ПТ}} S_2 + S_{2\text{ПР}}, \quad (4)$$

на второй вход

$$S_{2\text{ВХ}}^- = \frac{S_2}{S_1} (K_{\text{ПТ}} S_1 + S_{1\text{ПР}}) = K_{\text{ПТ}} S_2 + \frac{S_{1\text{ПР}} S_2}{S_1}. \quad (5)$$

На выходе вычитателя имеем

$$\begin{aligned} S_{2\text{ВЫХ}}^- &= S_{1\text{ВХ}}^- - S_{2\text{ВХ}}^- = K_{\text{ПТ}} S_2 + S_{2\text{ПР}} - \\ &- K_{\text{ПТ}} S_2 - \frac{S_{1\text{ПР}}}{S_1} S_2 = S_{2\text{ПР}} - \frac{S_{1\text{ПР}} S_2}{S_1}. \end{aligned} \quad (6)$$

На выход сумматора результат равен

$$\begin{aligned} S_{\text{ВЫХ}}^+ &= S_{\text{ВЫХ}}^- + \frac{S_2}{S_1} \cdot S_{1\text{ПР}} = \\ &= S_{2\text{ПР}} - S_{1\text{ПР}} \cdot \frac{S_2}{S_1} + S_{1\text{ПР}} \cdot \frac{S_2}{S_1} = S_{2\text{ПР}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Как показывает расчет и на втором такте, эхо на выходе сумматора эхокомпенсатора (на входе приемника) по-прежнему отсутствует.

Нетрудно убедиться в том, что это будет справедливо и для всех последующих тактов работы.

Однако это верно до тех пор, пока не изменятся параметры эхотракта, например вследствие изменения параметров подключенного к дифференциальной системе канала связи.

Проанализируем последствия изменения коэффициентов ослабления паразитного эхотракта на величину  $\Delta K_{\text{ПТ}}$ , которое может произойти из-за изменений параметров канала связи во время рабочего режима.

Предположим, что это произошло на  $j$ -м такте работы эхокомпенсатора. При этом на выходе вычитателя появится погрешность компенсации эха:

$$\begin{aligned} \Delta j &= S_{2j} - S_{(j-1)\text{XO}} \frac{S_j}{S_{(j-1)}} = S_j (K_{\text{ПТ}} + \Delta K_{\text{ПТ}}) - S_{(j-1)} K_{\text{ПТ}} \frac{S_j}{S_{(j-1)}} = \\ &= S_j K_{\text{ПТ}} + S_j \Delta K_{\text{ПТ}} - S_{(j-1)} K_{\text{ПТ}} \frac{S_j}{S_{(j-1)}} = \\ &= S_j K_{\text{ПТ}} + S_j \Delta K_{\text{ПТ}} - K_{\text{ПТ}} S_j = S_j \Delta K_{\text{ПТ}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Эта погрешность поступает в нижний контур и начинает в ней циркулировать, отсвечиваясь при этом на вход приемника. Через  $n$  тактов после изменения параметров канала величина погрешности  $\Delta'_{j+n}$  во втором контуре будет равна

$$\Delta'_{j+n} = \Delta_j \frac{S_{j+1}}{S_j} \cdot \frac{S_{j+2}}{S_{j+1}} \dots \frac{S_{j+n}}{S_{j+n-1}} = S_{j+n} \frac{\Delta K_{\text{ПТ}}}{S_j}. \quad (9)$$

Таким образом, возникновение неустраиваемой погрешности эхокомпенсации вследствие изменения параметров эхотракта говорит об отсутствии у инвариантных эхокомпенсаторов свойства адаптивности, что ограничивает возможность их использования в каналах связи с существенными изменениями параметров во время сеанса связи.

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что адаптация инвариантного эхокомпенсатора возможна, если применить новую адаптивную структурную схему инвариантного эхокомпенсатора которая представлена на рис. 2.

Для анализа и получения результатов экспериментального исследования адаптивного инвариантного эхокомпенсатора была разработана моделирующая программа, написанная в среде Matlab, для имитации процессов, происходящих при обучении и дальнейшей работе предложенной схемы адаптивного инвариантного эхокомпенсатора.

Качество работы предложенной схемы оценивается величиной среднего квадратичного отклонения (СКО) при разных уровнях шума.

Были рассмотрены три варианта организации работы схемы эхокомпенсатора при введении помехи в виде белого шума. В первом случае эхокомпенсатор без преобразований, то есть только при наличии дифференциальной системы с изменяющимися параметрами; во втором – эхокомпенсатор плюс схема адаптации и схема вычитания передаваемого сигнала; в третьем – эхокомпенсатор и схема адаптации. Для наглядного сравнения также показаны изменения помехи в виде белого шума.

В качестве исследуемого сигнала был взят синусоидальный сигнал как основной, однако для сравнения был исследован при таких же условиях сигнал прямоугольной формы.

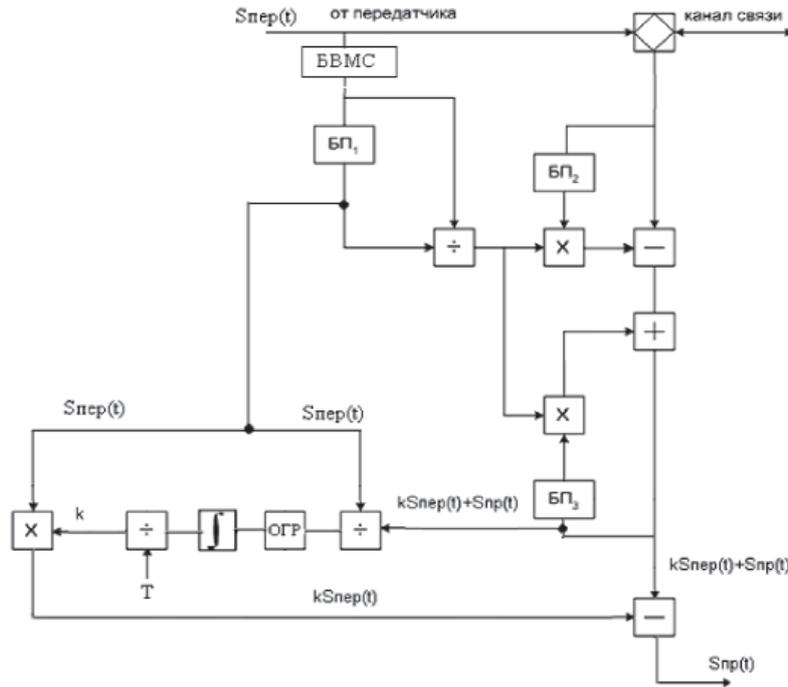


Рис. 2. Схема адаптивного инвариантного эхокомпенсатора

Зависимость СКО от количества испытаний при синусоидальной форме сигнала

$n$	30	50	100	500	1000	5000	10000	50000
$vv$	0,5988	2,0124	0,8778	2,1196	2,276	2,1224	2,1318	2,1463
$vv1$	2,2587	0,6828	0,7797	3,7203	4,4549	4,2234	4,3432	4,2189
$vv2$	0,3356	0,3264	0,3109	0,3601	0,3617	0,3547	0,3562	0,3563
$vv3$	3,251	3,325	2,4185	0,5894	0,3625	0,356	0,3803	0,3577
$y$	20,6126	21,8382	22,7966	21,9027	21,561	21,6537	21,6685	21,7108

Используемые обозначения:

- $vv$  – эхокомпенсатор без преобразований;
- $vv1$  – эхокомпенсатор, схема адаптации и вычитание передаваемого сигнала;
- $vv2$  – помеха в виде белого шума;
- $vv3$  – эхокомпенсатор, схема адаптации;
- $y$  – уровень вводимого шума, дБ;
- $n$  – количество испытаний.

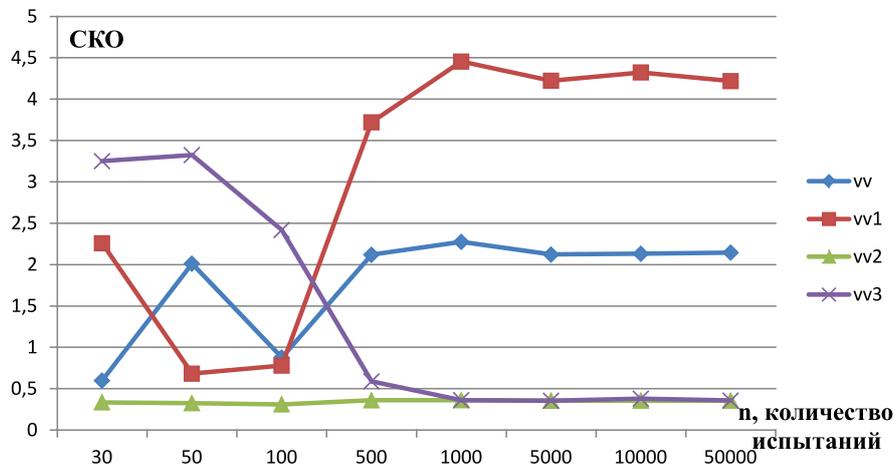


Рис. 3. График зависимости СКО от количества испытаний при синусоидальном сигнале

Результаты исследования влияния помехи в виде белого шума на качество эхокомпенсации при различных вариантах организации работы схемы представлены в таблице, а графики исследования показаны на рис. 3.

Рассмотрим зависимость СКО от количества проведенных испытаний.

Для синусоидального сигнала: при коэффициенте рассогласования дифференциальной системы, равном 0,5, и дисперсии белого шума, равной 0,1.

Полученные результаты, показывающие зависимость средней квадратичной ошибки (СКО) от дисперсии белого шума при различных формах сигналов, подтверждают предыдущие показания, то есть доказывают, что предложенная схема адаптивного инвариантного эхокомпенсатора является работоспособной в условиях действия помехи в виде белого шума.

#### Список литературы

1. Лебедев В.В. Разработка методов инвариантной передачи сообщений по линейным каналам связи // отчет по научно-исследовательской работе. – Новосибирск, СибГУТИ, 2002.
2. Лебедев В.В., Морозов Е.В. Оценки информационной защищенности и помехоустойчивости инвариантной системы связи // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1, часть 1. – С. 152–155.
3. Цыбулин М.К. Подавление электрического эха в телефонных каналах. – М.: Радио и связь, 1990. – 112 с.

4. Шувалов В.П., Захарченко Н.В., Шварцман В.О. Передача дискретных сообщений – М.: Радио и связь, 1990. – 462 с.

5. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции (формулы, графики, таблицы). – М., 1968. – 344 с.

#### References

1. Lebedjancev V.V. Razrabotka metodov invariantnoj peredachi soobshhenij po linejnym kanalams svjazi // otchet po nauchno-issledovatel'skoj rabote. Novosibirsk, SibGUTI, 2002.

2. Lebedjancev V.V., Morozov E.V. Ocenki informacionnoj zashishhennosti i pomehoustojchivosti invariantnoj sistemy svjazi // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravlenija i radiojelektroniki, no. 1, chast 1, 2010. pp. 152–155.

3. Cybulin M.K. Podavlenie jelektricheskogo jeha v telefonnyh kanalah. M.: Radio i svjaz, 1990. 112 p.

4. Shuvalov V.P., Zaharchenko N.V., Shvarcman V.O. Pereдача diskretnyh soobshhenij. M.: Radio i svjaz, 1990. 462 p.

5. Janke E., Jemde F., Ljosh F. Specialnye funkicii (formuly, grafiki, tablicy). M., 1968. 344 p.

#### Рецензенты:

Пальчун Ю.А., д.т.н., профессор, ученый секретарь, Сибирский государственный ордена Трудового Красного знамени научно-исследовательский институт метрологии, г. Новосибирск;

Сединин В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования», ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск.