

УДК 621.396;621.391

ВЛИЯНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ НА КАЧЕСТВО ПРИЕМА В ХАОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СВЯЗИ

© 2003 А. М. Бобрешов, А. А. Караваев

Воронежский государственный университет

Рассматривается система связи с нелинейным подмешиванием информационного сигнала в хаотический. Исследуется воздействие монохроматической помехи в канале связи на качество принимаемого сигнала. Определяется структура сигнала на выходе приемника при изменении параметров помехи.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время интенсивно изучаются системы связи, использующие динамический хаос [1—7], так как исследователей привлекают потенциальные возможности таких систем [8]. В [1] была предложена схема связи с нелинейным подмешиванием, которая формально относится к классу инверсных хаотических систем связи [3]. В такой системе связи в качестве двух взаимно обратных операций используются операции сложения и вычитания. Эти операции можно применять без ограничений на любые типы сигналов [3].

Система связи, использующая хаотические модули с нелинейным подмешиванием информации, в некоторых физических экспериментах показала в принципе свою работоспособность, хотя и с некоторыми довольно существенными ограничениями [2].

Однако, одной из проблем, стоящей на пути реализации этой идеи является возможность наличия помех в канале связи. В этом случае, как правило, приходится сталкиваться с задачей электромагнитной совместимости. Решение этой задачи требует разработки методики сравнительной оценки качества хаотических систем связи, включающих определение допустимых уровней помех и возможности снижения их влияния.

Цель работы — проанализировать воздействие помехового сигнала в канале системы связи с нелинейным подмешиванием на структуру сигнала, выделяемого в приемнике.

СТРУКТУРА КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Функциональная схема рассмотренной выше системы связи с нелинейным подмешиванием

показана на рис. 1. Базовым элементом хаотического модуля этой системы является кольцевой генератор хаоса [9]. Верхняя часть схемы представляет собой передатчик, нижняя — приемник. Для моделирования ситуаций, связанных с наличием помехи в канале связи, предусмотрена возможность добавления в канал помехи $H(t)$.

Передатчик состоит из нелинейного элемента (НЭ), инерционного звена (ИЗ), линейного фильтра (ЛФ) сумматора и двух операционных усилителей, служащих в качестве

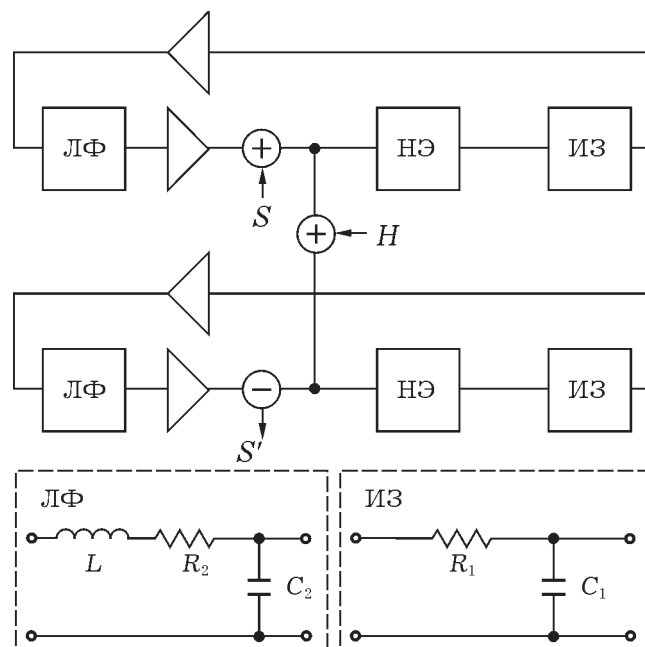


Рис. 1. Функциональная схема системы связи с нелинейным подмешиванием: ЛФ — линейный фильтр; НЭ — нелинейный элемент; ИЗ — инерционное звено в виде интегрирующей цепочки; S — информационный сигнал, вводимый в передатчик; S' — сигнал на выходе приемника; H — помеха

буферных элементов. Приемник состоит из тех же элементов, но вместо сумматора используется вычитатель, реализующий операцию обратную суммированию.

На выходе передатчика образуется смесь информационного и хаотического сигналов. Далее эта смесь поступает в канал связи. В приемнике на вычитателе формируется сигнал $S(t)$.

При наличии хаотического синхронного отклика [1] можно убедиться в том, что если на вход передатчика подать сигнал $S(t)$, то на выходе приемника сигнал $S'(t)$ будет идентичен $S(t)$.

Введение помехи $H(t)$ в канал приводит к нарушению хаотической синхронизации, и снижению качества приема, т.е. $S'(t) \neq S(t)$.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Система уравнений, описывающих передатчик:

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= \frac{1}{T} f(Y_1 + S) - \frac{1}{T} X_1, \\ \dot{Y}_1 &= \omega^2 Z_1 - q Y_1, \\ \dot{Z}_1 &= X_1 - Y_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Система уравнений описывающих приемник:

$$\begin{aligned} \dot{X}_2 &= \frac{1}{T} f(U) - \frac{1}{T} X_2, \\ \dot{Y}_2 &= \omega^2 Z_2 - q Y_2, \\ \dot{Z}_2 &= X_2 - Y_2, \\ S' &= U - Y_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры в системах уравнений (1) и (2) определяются следующим образом: $T = R_1 C_1$, $\omega^2 = 1/LC_2$, $q = R_2/L$. Здесь R_1 , R_2 , C_1 , C_2 , L — параметры приемника или передатчика (рис. 1), так как обе эти системы принимаем идентичными. $X_{1,2}(t)$ — сигналы на входе линейного фильтра, $Y_{1,2}(t)$ — сигналы на выходе линейного фильтра. $U(t)$ — сигнал, поступающий на вход приемника. Характеристика нелинейного элемента $f(V) = MV \exp(-V^2)$, где M — постоянный коэффициент, V — сигнал на входе нелинейного элемента, $f(V)$ — сигнал на выходе.

Первое уравнение в (1) описывает ИЗ, на вход которого поступает сигнал $f(S + Y_1)$. Второе и третье уравнения описывают ЛФ, пред-

ставляющий собой ФНЧ второго порядка (рис. 1). Система уравнений (2) составлена по аналогии с системой (1), но дополнена уравнением, характеризующим вычитатель.

Известно [2], что в таких системах возможно получение синхронного хаотического отклика в приемнике. Для этого необходимо, чтобы первый показатель Ляпунова системы уравнений приемника был отрицательным. Однако при добавлении в канал связи помехи, даже в случае отрицательности первого показателя Ляпунова приемника и идеального согласования параметров приемника и передатчика, может наблюдаться явление называемое перемежаемостью Ямады-Фуджисаки или «on-off» перемежаемостью [8].

Для исследования влияния помехи на структуру выходного сигнала $S'(t)$ добавим в канал связи помеху, при этом параметры передатчика и приемника сохраним идентичными. Результатом присутствия помехи в хаотическом спектре на входе приемника будет десинхронизация отклика на его выходе. Проанализируем эту ситуацию подробнее.

Обозначим сигнал на выходе нелинейного элемента приемника в отсутствие помехи в канале, как $N_2(t)$, а в ее присутствии — $N_{2H}(t)$. А сигнал на выходе ЛФ без помехи и с помехой в канале — $Y_2(t)$ и $Y_{2H}(t)$ — соответственно.

В нашем случае будем использовать монохроматическую помеху. С одной стороны это легко и точно воспроизводимая помеха. С другой стороны при рассмотрении нелинейных эффектов во всех задачах электромагнитной совместимости именно такая помеха используется в качестве измерительной, позволяющей провести оценку качества приемной системы.

Рассмотрим случай отсутствия помехи в канале. На вход приемника поступает сигнал $U(t) = S(t) + Y_1(t)$. После прохождения нелинейного элемента $U(t)$ преобразуется в $N_2(t)$. И далее пройдя инерционное звено и линейный фильтр $N_2(t)$ переходит в $Y_2(t)$. Введем обозначение $F[S(t)] = FS(j\omega)$ — спектр сигнала $S(t)$. Тогда для линейных блоков ИЗ и ЛФ можем записать:

$$FY_2(j\omega) = K(j\omega)FN_2(j\omega), \quad (3)$$

где $K(j\omega) = K_{ИЗ}(j\omega)K_{ЛФ}(j\omega)$ — общий коэффициент передачи ИЗ и ЛФ. На вычитающем блоке происходит следующее:

$$FU(j\omega) - FY_2(j\omega) = FS'(j\omega). \quad (4)$$

Если параметры передатчика и приемника совпадают, и в канале нет помех, то

$$FS'(j\omega) \equiv FS(j\omega), \text{ т.е. } S'(t) \equiv S(t).$$

Теперь рассмотрим случай наличия помехи в канале связи. На вход приемника поступает смесь $U_H(t) = H(t) + S(t) + Y_1(t)$. Спектр сигнала $N_{2H}(t)$ на выходе НЭ будет $FN_{2H}(j\omega)$. А в случае отсутствия помехи в канале на выходе НЭ будет сигнал $N_2(t)$ со спектром $FN_2(j\omega)$. Формально можно определить:

$$\Delta FN_{2H}(j\omega) = FN_{2H}(j\omega) - FN_2(j\omega), \quad (5)$$

тогда

$$FN_{2H}(j\omega) = FN_2(j\omega) + \Delta FN_{2H}(j\omega).$$

После прохождения сигнала $N_{2H}(t)$ через линейные блоки ИЗ и ЛФ его можно представить, в спектральной форме, как

$$FY_{2H}(j\omega) = K(j\omega)FN_2(j\omega). \quad (6)$$

На вычитающем блоке выделяется сигнал со спектром

$$FS'(j\omega) = FU_H(j\omega) - FY_{2H}(j\omega).$$

Учитывая (3)—(6) получим:

$$\begin{aligned} FS'(j\omega) &= \\ &= FS(j\omega) + FH(j\omega) - K(j\omega)\Delta FH_{2H}(j\omega). \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, из (7) видно, что спектр сигнала на выходе приемника состоит из трех компонент: полезной компоненты $FS(j\omega)$, помехо-

вой — $FH(j\omega)$ и шумовой — $K(j\omega)\Delta FH_{2H}(j\omega)$. Вид шумовой компоненты определяется формой спектра сигнала, свойствами фильтров и характеристикой нелинейного элемента.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Компьютерный эксперимент проводился в среде “Electronic Workbench” при следующих значениях параметров: $M = 40$, $R_1 = 50$ Ом, $C_1 = 1$ мкФ, $R_2 = 100$ Ом, $C_2 = 100$ нФ, $L = 20$ мГн. В качестве информационного и помехового сигналов были использованы гармонические сигналы $S(t) = A_S \sin(2\pi f_S t)$ и $H(t) = A_H \sin(2\pi f_H t)$ соответственно. Амплитуда $A_S = 28$ мВ и частота $f_S = 5$ кГц информационного сигнала на протяжении эксперимента оставались неизменными, в то время как параметры помехи менялись.

Спектры сигналов на выходе передатчика и приемника в отсутствие помехи $H(t)$ в канале связи изображены на рис. 2. При этом в случае синхронного хаотического отклика на выходе приемника наблюдается сигнал $S'(t)$, идентичный информационному сигналу $S(t)$. Если в канал добавить помеху $H(t)$, то на выходе приемника, появляется дополнительный хаотический спектр, сформированный из смеси хаотического сигнала и помехи, поступающих на вход приемника.

На рис. 3 представлены спектры сигналов $S'(t)$ при различных амплитудах помехи (7 и 14 мВ) с частотой $f_H = 9$ кГц. Для монохрома-

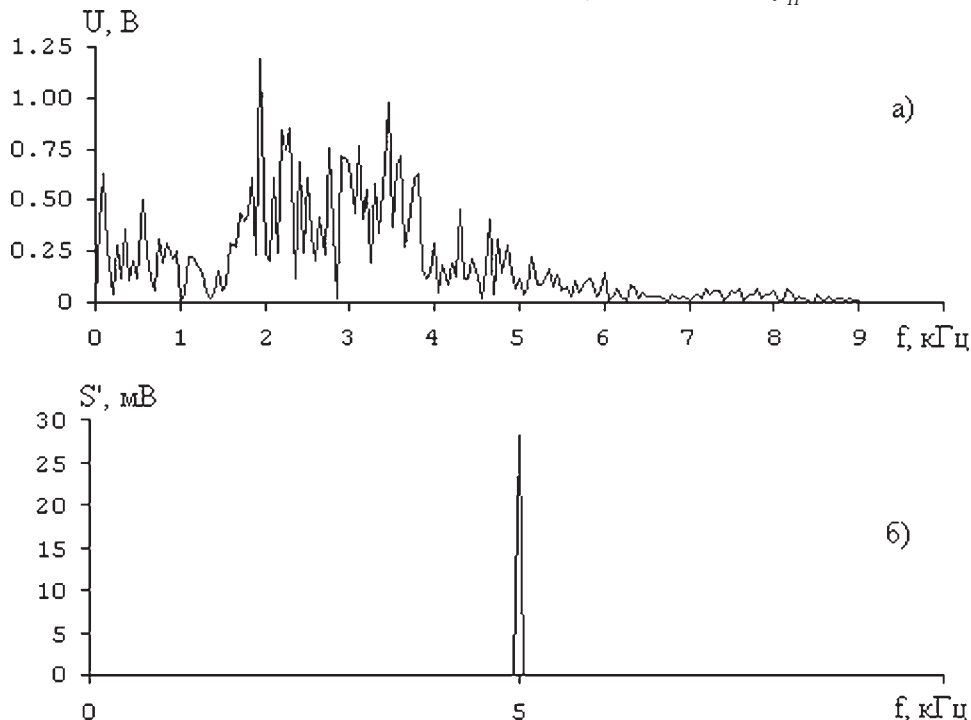


Рис. 2. Спектр сигнала на выходе передатчика (а) и на выходе приемника (б)

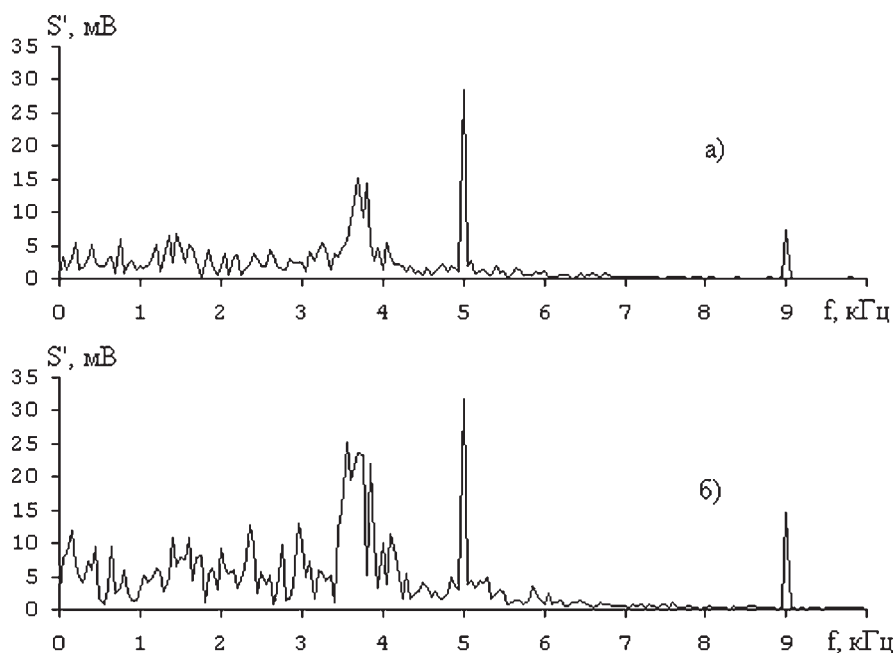


Рис. 3. Спектр сигнала на выходе приемника для различных амплитуд помехового сигнала: а — 7 мВ, б — 14 мВ

тических сигналов в теоретических расчетах, как правило, за критерий качества приемника берут соотношение сигнал/шум в единичной полосе. При увеличении амплитуды помехи соотношение сигнал/шум в единичной полосе сигнала на выходе приемника ухудшается. Так, при помехе 7 мВ (рис. 3а) отношение сигнал/шум по мощности на выходе 34 дБ, а при помехе 14 мВ (рис. 3б) — 23 дБ.

Если нарисовать зависимость отношения сигнал/шум от частоты помехи, то, оказывается, что, при заданной амплитуде помехи, она имеет хаотический характер. Такой вид данной зависимости определяет хаотический сигнал, поступающий вместе с помехой на вход нелинейного элемента приемника.

В ходе эксперимента оказалось, что в присутствии помехи спектр выходного сигнала всегда состоит из трех компонент: информационной, помеховой и добавочного шумового спектра, что следует и из формулы (7).

Также, можно заметить, что при различных помехах спектр шумовой компоненты всегда лежит в определенной полосе частот, которая задается элементами ИЗ и ЛФ. Общая передаточная характеристика $K(f)$ для последовательно соединенных блоков ИЗ и ЛФ представлена на рис. 4.

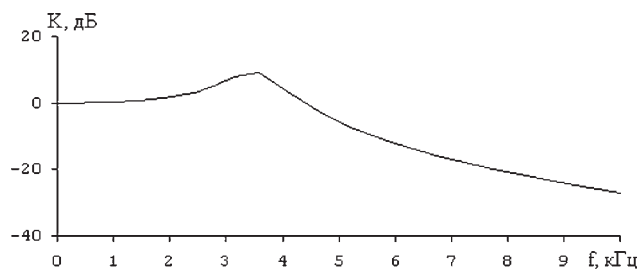


Рис. 4. Общая передаточная характеристика для последовательно соединенных блоков ИЗ и ЛФ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, были выявлены следующие особенности воздействия помехового сигнала:

Спектр сигнала на выходе приемника состоит из трех компонент: информационной, помеховой и добавочного шумового спектра. Эта структура выходного сигнала сохраняется при любых параметрах помехи в канале. В отсутствие помех, при условии синхронного хаотического отклика, в спектре сигнала $S'(t)$ наблюдается только информационная компонента.

При увеличении амплитуды помехового сигнала $H(t)$ соотношение сигнал/шум в единичной полосе информационного сигнала $S(t)$ ухудшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волковский А.Р., Рульков Н.В. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. № 3. С. 71—75.
2. Дмитриев А.С., Кузьмин Л.В., Панас А.И., Старков С.О. // РЭ. 1998. Т. 43. № 9. С. 1115—1128.
3. Дмитриев А.С., Кузьмин Л.В., Панас А.И. // РЭ. 1999. Т. 44. № 8. С. 988—996.
4. Шалфеев В.Д., Осипов Г.В., Козлов А.К., Волковский А.Р. // Зарубеж. радиоэлектрон. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 10. С. 27—49.
5. Хаслер М. // Зарубеж. радиоэлектрон. Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 11. С. 33—43.
6. Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О. // РЭ. 2001. Т. 46. № 2. С. 224—233.
7. Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Пузииков Д.Ю., Старков С.О. // РЭ. 2002. Т. 47. № 10. С. 1219—1228.
8. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. 368 с.
9. Дмитриев А.С., Кислов В.Я. Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989. 277 с.