

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.391.7

И.В. ШИНКАРЕНКО, А.И. ЦОПА, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТВОДНОГО КАНАЛА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ НА ПАРАМЕТРЫ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ *xDSL* ТЕХНОЛОГИЙ

Введение

Создание мультимедийных ведомственных систем связи (ВСС) требует решения задачи не только повышения производительности цифровых систем передачи информации (ЦСПИ), но и их защищенности. Угрозы информационной безопасности в проводном сегменте ВСС связаны с появлением при передаче информации по кабельным линиям связи (КЛС) отводных каналов (каналов утечки), с помощью которых нарушитель может пассивно или активно воздействовать на ВСС.

В известных работах [1, 2] концепция отводного канала (ОК) развита для случая электромагнитной связи приемника-обнаружителя с КЛС, проложенной в различных материальных средах (под землей, над землей и вертикальных колодцах). Учитывая то, что при построении ВСС зачастую используется инфраструктура выделенных кабельных линий, то опасность непосредственного подключения к таким линиям возрастает, особенно на абонентском участке КЛС [3]. При этом нарушитель не только может снимать информацию с легитимного канала связи, но и воздействовать на него генератором помех, нарушая работу канала передачи информации ВСС. В технической литературе [4-5] приводятся данные, в основном, о влиянии отводных каналов на аналоговые системы телефонной связи, но отсутствуют данные о параметрах оценки защищенности (помехозащищенности и скрытности) ЦСПИ на базе современных *xDSL* технологий, являющихся основой при построении мультимедийных ВСС.

Так как современные *xDSL* технологии используют многоуровневые и многочастотные линейные сигналы в диапазоне частот до 30 МГц и выше, то наиболее эффективным методом анализа таких проводных каналов является разработка модели ОК на основе матричного описания канала связи с помощью *S*-параметров [6].

Цель работы – разработка модели проводной линии связи с отводом и исследование влияния отводного канала на параметры защищенности легитимного канала при непосредственном подключении аппаратуры нарушителя к проводам линии связи ЦСПИ с *xDSL* технологиями.

Основная часть

Рассмотрим модель отводного канала для случая современных проводных ЦСПИ. Известно, что перспективным способом повышения производительности ЦСПИ является использование технологии *MIMO*, т.е. применение многоканальных *xDSL* модемов и многопроводных кабельных линий связи [7-8].

На рис. 1 представлена эквивалентная схема многопроводной ЦСПИ, у которой отводной канал имеет гальваническое соединение с легитимным каналом, где приняты такие обозначения: Z_0 – волновое сопротивление отрезков линий; $Z_{M1}, Z_{M2}, Z_{П}$ – входные сопротивления легитимных модемов и приемника нарушителя соответственно.

В большинстве практических случаев отводной канал образуется за счет включения параллельного шлейфа в одну из пар проводов (см. рис. 1). При этом гальваническое подключение приемника нарушителя с входным сопротивлением $Z_{П}$ к одной из линий нарушает взаимосвязи между всеми парами проводов.

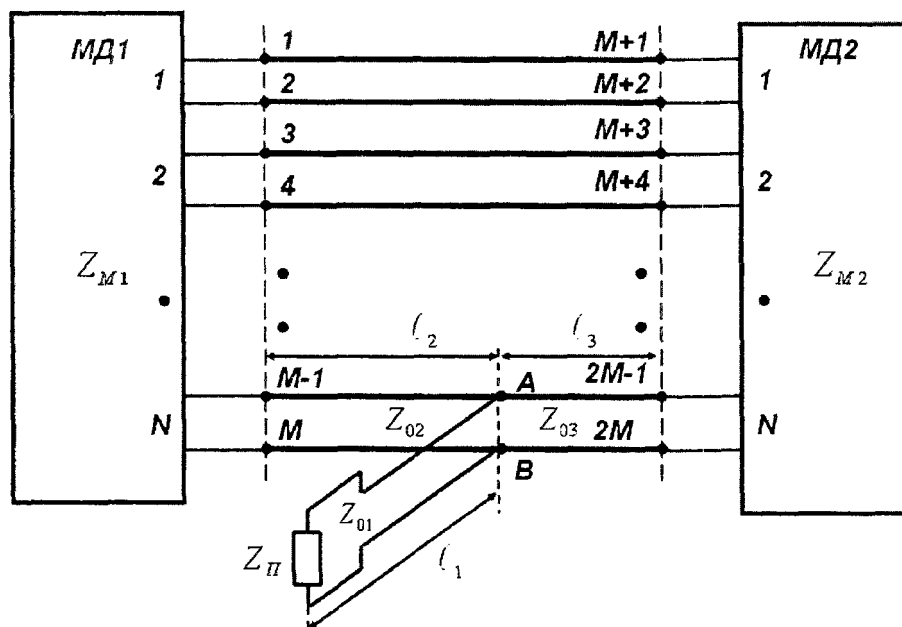


Рис. 1. Эквивалентная схема многопроводной ЦСПИ с гальваническим включением ОК

Для уменьшения трудоемкости анализа будем считать, что изменяются только характеристики канала N , к которому подключается нарушитель. Тогда для оценки влияния ОК на характеристики легитимного канала связи можно перейти к более простой схеме, представленной на рис. 2.

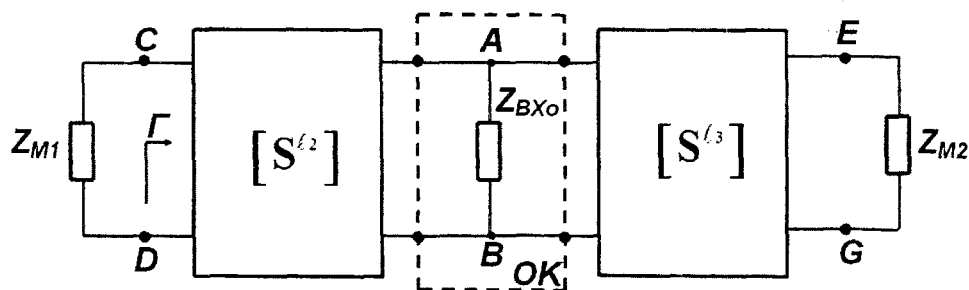


Рис. 2. Эквивалентная схема однопарной ЦСПИ с гальваническим включением ОК

На данной схеме через $[S^{\ell_2}]$ и $[S^{\ell_3}]$ обозначены матрицы рассеяния отрезков кабелей с длинами ℓ_2 и ℓ_3 . Эти матрицы рассчитываются на основе известных погонных параметров кабельных линий связи при условии $Z_{M1} = Z_{M2} = Z_0$ по соотношениям, приведенным в [9]:

$$S = \begin{bmatrix} 0 & \exp(-\gamma \cdot \ell) \\ \exp(-\gamma \cdot \ell) & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)}$ – комплексный коэффициент распространения сигнала для отрезка линии ℓ ; ℓ – длина соответствующего участка линии (ℓ_2 или ℓ_3); α – коэффициент ослабления сигнала; β – фазовый коэффициент распространения; R, L, C, G – первичные параметры отрезка КЛС ℓ (ℓ_2 или ℓ_3); $\omega = 2\pi f_c$ – круговая частота.

В этой схеме (рис. 2) влияние отводного канала нарушителя учитывается параллельным включением в линию связи сопротивления $Z_{ВХ0}$, величина которого определяется входным

сопротивлением отрезка кабеля отводного канала длиной ℓ_1 , нагруженного на входное сопротивление приемника-обнаружителя Z_{Π} [10]:

$$Z_{BXO} = Z_{01} \cdot \frac{Z_{\Pi} + Z_{01} \cdot \tanh(\gamma_1 \ell_1)}{Z_{01} + Z_{\Pi} \cdot \tanh(\gamma_1 \ell_1)}, \quad (2)$$

где $\gamma_1 = \sqrt{(R_1 + j\omega L_1) \cdot (G_1 + j\omega C_1)}$ – коэффициент распространения линии ℓ_1 ;
 $Z_{01} = \sqrt{\frac{R_1 + j\omega L_1}{G_1 + j\omega C_1}}$ – характеристический импеданс отрезка КЛС ℓ_1 ; R_1, L_1, C_1, G_1 – первичные параметры отрезка КЛС ℓ_1 .

Матрица отводного канала $[S^{OK}]$ имеет вид [11]:

$$[S^{OK}] = \begin{bmatrix} S_{11}^{OK} & S_{12}^{OK} \\ S_{21}^{OK} & S_{22}^{OK} \end{bmatrix} = \frac{1}{D_s} \begin{bmatrix} Y_3 - Y_2 - Y & 2\sqrt{Y_1 \cdot Y_2} \\ 2\sqrt{Y_1 \cdot Y_2} & Y_2 - Y_1 - Y \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $Y = 1/Z_{BXO}$; $Y_1 = 1/Z_{02}$; $Y_2 = 1/Z_{03}$; $D_s = Y + Y_1 + Y_2$; Z_{BXO} – входное сопротивление отводного канала; Z_{02} – входное сопротивление отрезка линии ℓ_2 ; Z_{03} – входное сопротивление отрезка линии ℓ_3 .

Все элементы схемы (рис. 2) включены каскадно, что позволяет легко найти интересующий нас коэффициент отражения Γ в точках CD и коэффициент передачи по мощности от точек CD к точкам EG. Именно по этим параметрам можно судить о степени влияния гальванически подключенного отводного канала на передачу информации в легитимном канале, а значит, и на характеристики защищенности ЦСПИ с проводными технологиями передачи информации.

При каскадном включении трех четырехполюсников с известными $[S]$ – матрицами, описываемыми выражениями (1) и (3), результирующую $[S]^{\Sigma}$ – матрицу канала можно найти, воспользовавшись методикой объединения многополюсников, предложенной в [9]. Пользуясь формулами объединения матриц, нужно учитывать то, что нельзя непосредственно соединять между собой различающиеся линии связи, т.е. стык различных линий является самостоятельным элементом и должен учитываться соответствующей матрицей параметров. При этом сначала определяется матрица первых двух четырехполюсников, а затем полученная матрица объединяется с третьей по известным соотношениям:

$$S_{11} = S_{11}^I + S_{12}^I \cdot (1 - S_{11}^{II} S_{22}^I)^{-1} \cdot S_{11}^{II} \cdot S_{21}^I, \quad (4)$$

$$S_{12} = S_{12}^I \cdot (1 - S_{11}^{II} S_{22}^I)^{-1} \cdot S_{12}^{II} = S_{12}^I \cdot S_{12}^{II}, \quad (5)$$

$$S_{21} = S_{21}^{II} \cdot (1 - S_{22}^I S_{11}^{II})^{-1} \cdot S_{21}^I, \quad (6)$$

$$S_{22} = S_{22}^{II} + S_{21}^{II} \cdot (1 - S_{22}^I S_{11}^{II})^{-1} \cdot S_{22}^I \cdot S_{12}^{II}, \quad (7)$$

где верхними символами **I** обозначены соответствующие параметры левого четырехполюсника, а символами **II** – правого четырехполюсника в рассчитываемой паре.

Применив вышеизложенную методику, получим результирующую матрицу $[S]^{\Sigma}$ проводной линии связи с отводом в виде

$$[\mathbf{S}]^\Sigma = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11}^\Sigma & \mathbf{S}_{12}^\Sigma \\ \mathbf{S}_{21}^\Sigma & \mathbf{S}_{22}^\Sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11}^{OK} * e^{-2\gamma l_2} & \mathbf{S}_{12}^{OK} * e^{-\gamma(l_2+l_3)} \\ \mathbf{S}_{21}^{OK} * e^{-\gamma(l_2+l_3)} & \mathbf{S}_{22}^{OK} * e^{-2\gamma l_3} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где \mathbf{S}_{11}^{OK} , \mathbf{S}_{12}^{OK} , \mathbf{S}_{21}^{OK} , \mathbf{S}_{22}^{OK} – элементы матрицы, взятые из соотношения (3); $l_{ЛК} = l_2 + l_3$ – длина легитимной линии связи.

Таким образом, коэффициент отражения по входу $\Gamma_{ВХ}$ – определяется элементом \mathbf{S}_{11}^Σ результирующей матрицы $[\mathbf{S}]^\Sigma$, коэффициент отражения по выходу $\Gamma_{ВЫХ}$ – определяется элементом \mathbf{S}_{22}^Σ , а коэффициент передачи по мощности с входа на выход линии связи определяется как $[\mathbf{S}_{21}^\Sigma]^2$.

При наличии отводного канала в легитимной линии связи появляется неоднородность, приводящая к появлению отраженных волн и изменению значения элементов матрицы $[\mathbf{S}]^\Sigma$, которые являются индикатором несанкционированного подключения к КЛС.

Обычно в измерительных приборах тестирования каналов связи на основе КЛС и определения отводов на линиях связи используется оценка изменения коэффициента отражения во временной области $\mathbf{S}_{11}^\Sigma(t)$ при подаче специального зондирующего импульса [13]. Однако при наличии шумов в КЛС такой метод дает большую погрешность и его реализация в ЦСПИ на базе xDSL технологий затруднена.

В нашем случае целесообразно использовать частотные зависимости элементов результирующей матрицы $[\mathbf{S}]^\Sigma$ и определить зависимости $\mathbf{S}_{11}^\Sigma(f_c)$, $\mathbf{S}_{22}^\Sigma(f_c)$ и $\mathbf{S}_{12}^\Sigma(f_c)$. Нахождение частот f_m локальных минимумов этих функций в полосе частот $0 \leq f_i \leq f_c$ является индикатором не только подключения ОК, но и расстояния до места подключения нарушителя l_2 , т.е. $f_m = F(l_2)$.

$$\mathbf{S}_{11}^\Sigma(f) = \min_{0 \leq i \leq k} [\mathbf{S}_{11}^\Sigma(f_i)] = \mathbf{S}_{11}^\Sigma(f_m), \quad \mathbf{S}_{12}^\Sigma(f) = \min_{0 \leq i \leq k} [\mathbf{S}_{12}^\Sigma(f_i)] = \mathbf{S}_{12}^\Sigma(f_m). \quad (9)$$

Используя предложенную выше модель, проведем численные эксперименты для оценки влияния отводного канала на параметры проводного сегмента сети абонентского доступа ВСС, схема которого приведена на рис. 3.

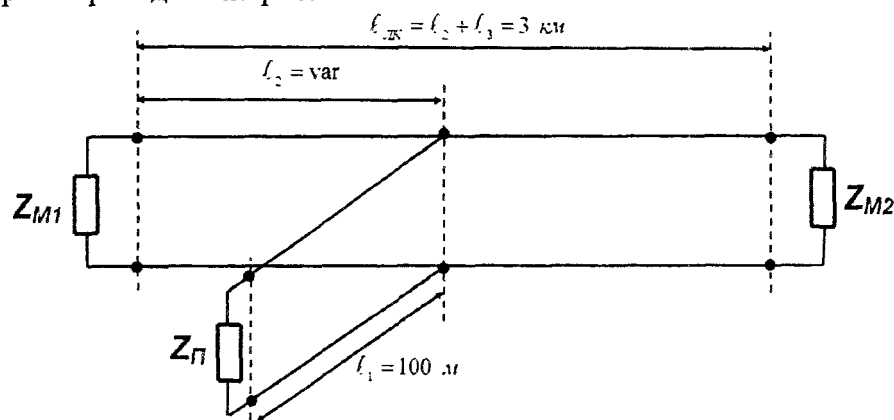


Рис. 3. Схема проводного сегмента с отводным каналом при численных экспериментах

В сети абонентского доступа ВСС обычно используется типовой многопарный кабель типа ТПП-0,5 в полиэтиленовой изоляции с толщиной жил $d = 0,5 \text{ мм}$. Погонные параметры этого кабеля на частоте $f = 500 \text{ кГц}$ [12]: $R_n = 0,3 \text{ Ом/м}$; $L_n = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; $C_n = 45 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$; $G_n = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ См/м}$.

Расчетная длина линии легитимного канала связи составляет $\ell_{JK} = 3$ км. Выходное сопротивление модемов $Z_{M1} = Z_{M2} = Z_0 = 135$ Ом. Предположим, что нарушитель использует для подключения своего приемника с входным сопротивлением $Z_{\pi} = 135$ Ом такой же тип кабеля, как и в легитимном канале. Длина отрезка кабеля отводного канала равна $\ell_1 = 100$ м.

Приведенные выше данные были использованы в модели для расчета и исследования частотных зависимостей коэффициента затухания S_{12}^{Σ} и коэффициента отражения S_{11}^{Σ} (S_{22}^{Σ}) для различных мест подключения отводного канала к легитимной линии связи, т.е. при изменении расстояния до отвода ℓ_2 по длине основной КЛС.

Результаты численного моделирования представлены на рис. 4 – 10, где f_{m1} и f_{m2} локальные минимумы.

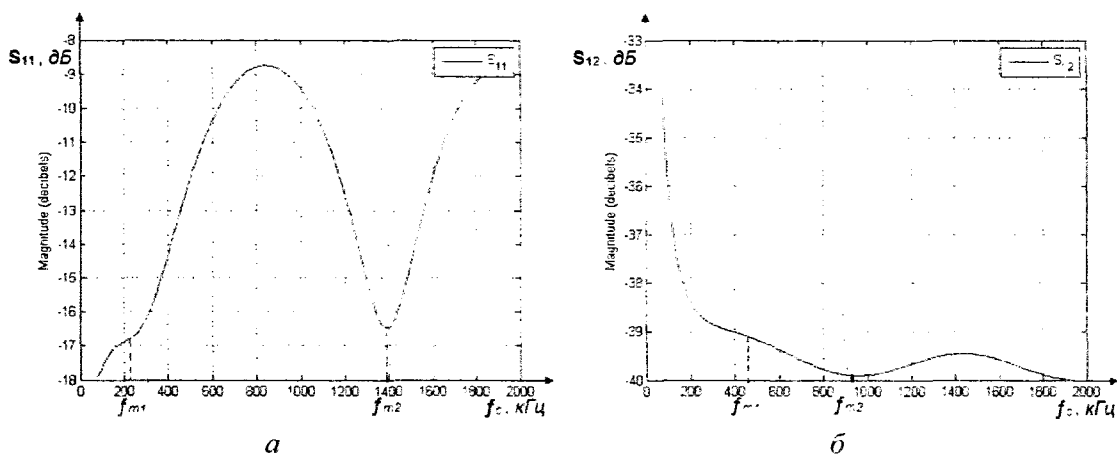


Рис. 4. Графики зависимости: $a - S_{11}^{\Sigma}$ и $b - S_{12}^{\Sigma}$ от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 100$ м

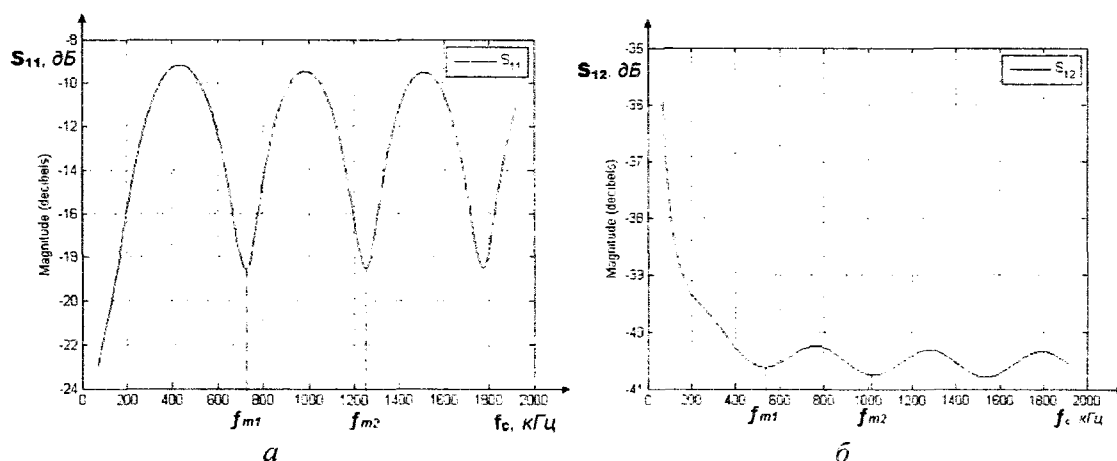


Рис. 5. Графики зависимости: $a - S_{11}^{\Sigma}$ и $b - S_{12}^{\Sigma}$ от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 200$ м

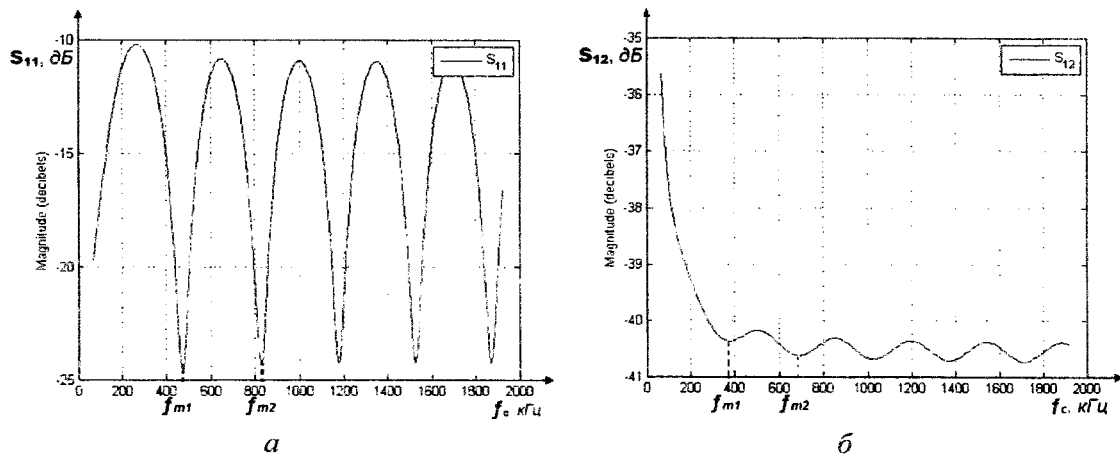


Рис. 6. Графики зависимости: $a - S_{11}^{\Sigma}$ и $b - S_{12}^{\Sigma}$ от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 300$ м

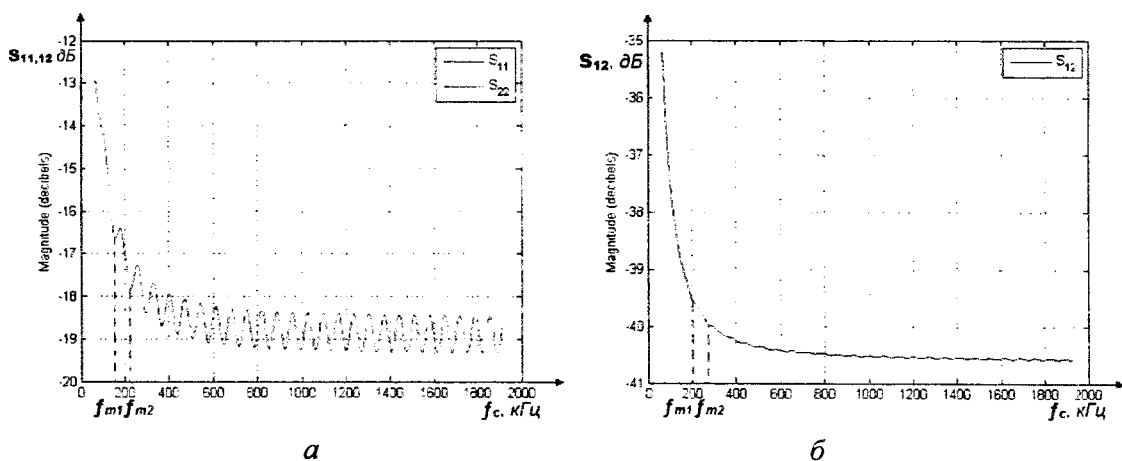


Рис. 7. Графики зависимости: $a - S_{11}^{\Sigma} = S_{22}^{\Sigma}$ и $b - S_{12}^{\Sigma}$ от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 1500$ м

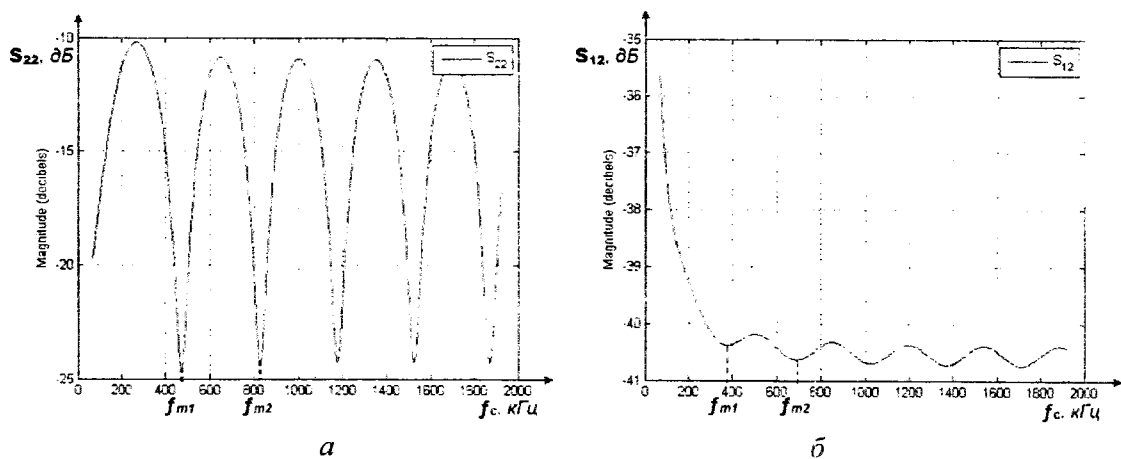


Рис. 8. Графики зависимости: $a - S_{22}^{\Sigma}$ и $b - S_{12}^{\Sigma}$ от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 2700$ м

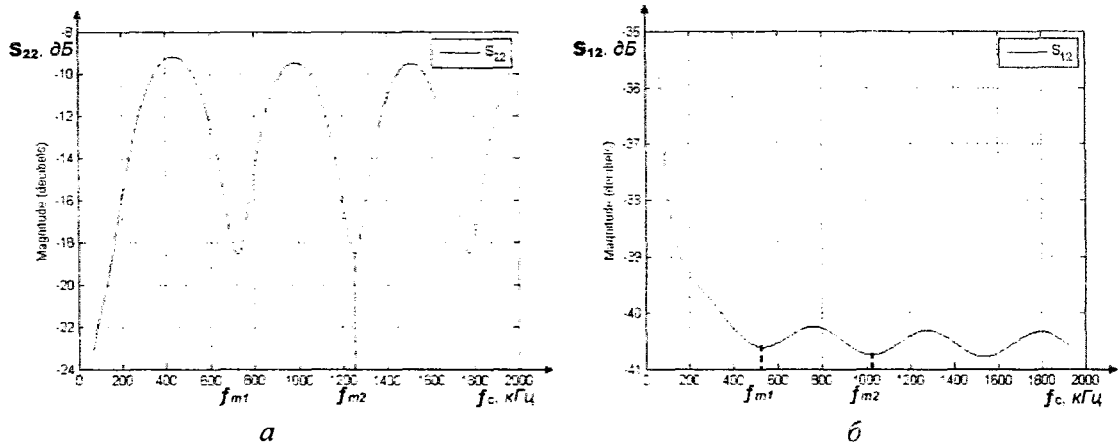


Рис. 9. Графики зависимости: *a* – S_{22}^{Σ} и *б* – S_{12}^{Σ} от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 2800$ м

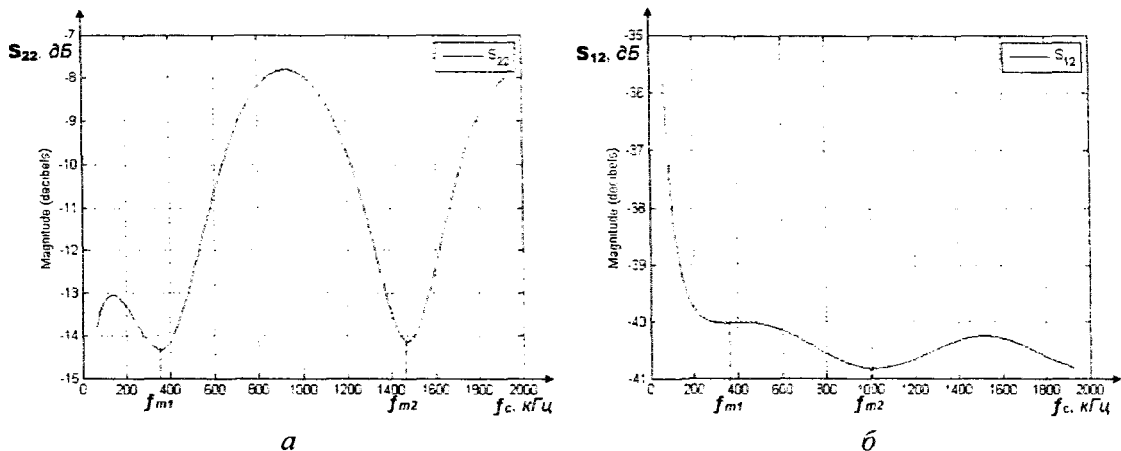


Рис. 10. Графики зависимости: *a* – S_{22}^{Σ} и *б* – S_{12}^{Σ} от частоты f_c при расстоянии до отвода $\ell_2 = 2900$ м

Результаты численных экспериментов показывают, что включение в линию отводного канала приводит к появлению рассогласования в проводном канале. Чем ближе отвод к началу или концу линии, тем больше частота первого локального минимума (спада) коэффициента отражения S_{11}^{Σ} (S_{22}^{Σ}). При отводе на середине основной линии связи характер частотных зависимостей коэффициентов отражения S_{11}^{Σ} и S_{22}^{Σ} полностью совпадает. Влияние отводного канала на частотную характеристику передачи сведено к минимуму.

За счет появления отводного канала на частотной характеристике передачи канала S_{12}^{Σ} появляются провалы, которые могут существенно снижать эффективность работы ЦСПИ на базе *xDSL* технологий. По положению локальных минимумов на частотной характеристике S_{12}^{Σ} также можно судить о месте подключения ОК по длине легитимной линии связи. Это обстоятельство может быть использовано для определения факта и места подключения ОК, так как известно, что современные ЦСПИ на базе *xDSL* технологий перед началом своей работы тестируют линию связи и определяют частотные характеристики канала для настройки входных адаптивных фильтров [14].

Заключение

В работе представлена модель оценки влияния отводного канала на легитимный канал связи при непосредственном подключении к линии связи аппаратуры нарушителя на основе матричного описания проводного канала с использованием *S*-параметров. Учитывая то, что

существует целый ряд измерительных приборов, которые непосредственно позволяют измерять S -параметры многополосников, создается поле для сравнительного анализа теоретических и экспериментальных исследований влияния отводного канала на параметры и эффективность работы проводных ЦСПИ.

Получены зависимости коэффициента отражения S_{11}^{Σ} и затухания S_{12}^{Σ} от частоты при изменении расстояния до места подключения ОК, которые позволяют оценить влияние отводного канала как на согласование линии связи и так и на характеристики передачи системы связи.

Показано, что при введении дополнительной обработки тестового сигнала ЦСПИ на базе $xDSL$ технологий можно не только обнаружить факт подключения к линии связи, но и выявить место подключения.

Список литературы: 1. Цопа А.А. Оценка защищенности проводных каналов связи с использованием $xDSL$ технологий от деструктивного электромагнитного воздействия / А.А. Цопа, В.В. Маслий, А.И. Цопа // *Захист інформації*. – Київ : ДУИКТ, 2007. – Спец. вип. – С. 32-39. 2. Дудка А.А. Прогнозирование зон обнаружения для кабельных линий связи в сети абонентского доступа на основе VDL технологий / А.А. Дудка, А.И. Цопа, В.М. Шокало // *Сучасний захист інформації*. – Київ : ДУИКТ, 2010. – Вип. 3. – С. 45-53. 3. Шинкаренко И.В. Экспериментальная оценка защищенности мультимедийных цифровых систем передачи информации на основе $SHDSL$ технологий / И.В. Шинкаренко, А.И. Цопа // *Известия вузов. Радиоэлектроника*. – Київ : НТУ «КПИ», 2011. – Т. 54. – Вип. 5. – С. 30-36. 4. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации. – К. : ЮНИОР, 2003. – 504 с. 5. Хома В.В. Методи і засоби технічного захисту інформації на абонентських телефонних лініях // *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. Автоматика, вимірювання та керування. – 2009. – Вип. № 639. – С. 97-93. 6. Павликевич М.Й. Режим узгодження і перехресні зв'язки у багатопровідних лініях // *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. Автоматика, вимірювання та керування. – 2009. – Вип. № 639. – С. 3-14. 7. Ермолаев В.Т., Хоряев А.В., Масленников Р.О. Подавление перекрестных помех и эквализация в системах связи // *Вестник Нижегород.о нац.о гос. ун-та. Серия «Радиофизика»*. – Нижний Новгород, 2004. – №2. – С. 62-71. 8. Ginis G, Peng C. Alien Crosstalk Cancellation for Multipair Digital Subscriber Line Systems // *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*. – Hindawi Publishing Corporation, Volume 2006, Article ID 16828, Pages 1-12. 9. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. Устройства СВЧ и антенны / под ред. Д.И. Воскресенского. – М. : Радиотехника, 2006. – 376 с. 10. Сазонов Д.М., Гридин Ф.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ : учеб. пособие / под ред. Д.М. Сазонова. – М. : Высш. шк., 1981. – 295 с. 11. Гололобов Д.В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : учеб. пособие: В 3 ч. Часть 2. Фидерные устройства / Д.Б. Гололобов, В.Б. Кирильчук. – Мн. : БГУИР, 2005. – 299 с. 12. Брискер А.С., Руга А.Д., Шарле Д.Л. Городские телефонные кабели: Справочник 2-е изд., переработанное и дополненное. – М. : Радио и связь, 1984. – 304 с. 13. S. Galli and K. J. Kerpez. Single-Ended Loop Make-Up Identification. Part I: A Method of Analyzing TDR Measurements // *IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement*. – 2006. – Vol. 55. – NO. 2. – P. 528-537. 14. Парфенов Ю. А. Цифровые сети доступа: Медные кабели и оборудование / Ю.А. Парфенов, Д.Г. Мирошников. – М. : Эко-Трендз, 2005. – С. 288.

*Харьковский национальный
университет радиотехники*

Поступила в редколлегию 17.02.2011