

УДК 621.372; 621.371

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИТОЙ ПАРЫ  
ПРИ ЭКСПОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

ИВАНИЦКИЙ А.М., РОЖНОВСКИЙ М.В.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TWISTED PAIR  
UNDER EXPOFUNCTIONAL EXCITATIONS**

IVANITCKIY A.M., ROZHNOVSKIY M.V.

Odessa national academy of telecommunications n.a. A.S. Popov

*Аннотация.* Проведено экспериментальное исследование витой пары при экспофункциональных воздействиях, результаты которого подтверждают способность экспофункциональных сигналов компенсировать распределенные потери в однородных линиях.

*Summary.* The experimental research of the twisted pair under expofunctional excitations is given, results is proved the ability of expofunctional signals to compensate distributed losses in homogeneous lines.

Проводные линии связи широко применяются в различных отраслях техники, электроники и средств связи. Развитие телекоммуникационных технологий, например, проводных компьютерных сетей, обуславливает проблему, связанную с повышением требований к характеристикам проводных линий связи, используемых в офисных сетях, в частности повышения их пропускной способности. Основной причиной ограничения скорости передачи информации по офисным кабельным сетям являются потери, возрастающие в проводниках как с повышением частоты передаваемого сигнала, так и с увеличением длины соединительной линии. Компенсация указанных потерь позволит расширить возможности существующих офисных кабельных сетей.

Принципиально новым подходом к компенсации распределенных потерь в однородных линиях является решение, основанное на явлении выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи [1].

Исследования однородных линий при экспофункциональных воздействиях уже проводились. В работе [2] исследованы амплитудно-частотные и переходные характеристики систем, содержащих электрические цепи с распределенными параметрами, которые эквивалентны коротким однородным линиям без искажений, при экспогармоническом воздействии; исследованы отклики таких систем на последовательность прямоугольных импульсов. В работе [3] рассмотрены телеграфные уравнения однородных линий при экспофункциональных сигналах и исследованы амплитудно-частотные характеристики длинных однородных линий без искажений. В работе [4] дано понятие экспо-П-образного сигнала и рассмотрены особенности прохождения таких сигналов через длинную однородную линию без искажений. В работе [5] представлены исследования однородной линии с произвольными потерями при экспофункциональном воздействии, предложены выражения записи вторичных параметров линии при указанных воздействиях, дана формула расчета величины параметра экспофункционального сигнала  $\lambda$ , необходимого для полной компенсации потерь в однородных линиях с произвольными потерями. В работе [6] исследованы линии с частотнозависимыми первичными параметрами  $R$  и  $G$ , предложена математическая модель линии с частотнозависимыми первичными параметрами  $R$  и  $G$  при экспофункциональном воздействии, дана формула расчета величины параметра экспофункционального сигнала  $\lambda$ , необходимого для полной компенсации частотнозависимых потерь в однородных линиях, доказан тот факт, что экспофункциональный сигнал способен компенсировать частотнозависимые потери, существующие в электрических цепях с распределенными параметрами. В работе [7] дана математическая модель витой пары категории 5E класса D [8] при экспофункциональном воздействии, исследованы частотные и временные характеристики предложенной модели, показано, что применение экспофункционального сигнала может увеличить пропускную способность витой пары.

Теоретические результаты, приведенные в работах [2-7], получили подтверждение при рассмотрении частотных и временных характеристик моделей линий при экспофункциональных воздействиях. Однако в литературе отсутствует описание натурального эксперимента, подтверждающего достоверность изложенных в [2-7] результатов. Поэтому целью данной работы является экспериментальное подтверждение способности экспофункционального сигнала компенсировать потери, существующие в однородных линиях.

Для подтверждения результатов исследований однородных линий при экспофункциональном воздействии, изложенных в работах [2-7], необходимо провести натуральный эксперимент, используя реальный образец однородной линии, и сравнить результаты проведенного эксперимента с результатами полученными на математической модели того же экспериментального образца. В качестве опытного образца (экспериментального образца) в данной работе рассмотрим отрезок витой пары категории 5Е класса D [8] при экспофункциональных воздействиях.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В [7] показано, что математическую модель витой пары при экспофункциональном воздействии можно получить, опираясь на модели линии с частотнозависимыми потерями, которые даны в работе [6].

Коротко опишем основные принципы работы математических моделей линий, предложенных в работах [6, 7].

Математическая модель линии при гармоническом воздействии подробно описана, например, в литературе [9, 10], где отрезок однородной линии рассматривается как симметричный четырехполюсник, нагруженный на сопротивление  $Z_n$ , (рис. 1).

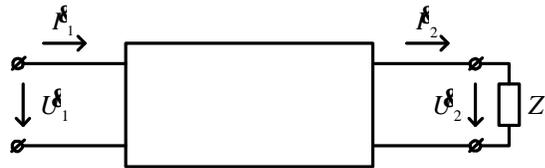


Рисунок 1 — Симметричный четырехполюсник, нагруженный на  $Z_i$

Рассматривая линию как симметричный четырехполюсник, авторы работ [9, 10] определяют частотные функции, которые характеризуют данный четырехполюсник, нагруженный на  $Z_i$ . В качестве таких функций рассматриваются амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазочастотная характеристика (ФЧХ). Для того чтобы получить АЧХ и ФЧХ четырехполюсника, нагруженного на сопротивление  $Z_i$ , запишем его комплексную передаточную функцию по напряжению [9, 10]

$$K_U(\omega) = \frac{U_2^\delta}{U_1^\delta} = K(\omega) \cdot e^{-j\varphi(\omega)} = \frac{Z_i}{A_{11}Z_i + A_{12}} = \frac{Z_i}{Z_i \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_a \operatorname{sh}(\gamma l)}, \quad (1)$$

где  $K(\omega)$  – АЧХ,  $\varphi(\omega)$  – ФЧХ,  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота,  $U_1^\delta$  и  $U_2^\delta$  – напряжение в комплексном виде на входе и выходе четырехполюсника соответственно,  $Z_i$  – комплексное сопротивление нагрузки,  $Z_a$  – комплексное волновое сопротивление,  $A_{11}$ ,  $A_{12}$  – элементы матрицы  $[A]$  для отрезка однородной линии,  $g$  – коэффициент распространения линии,  $l$  – длина отрезка линии.

Указанная выше математическая модель однородной линии разработана, опираясь на известные телеграфные уравнения однородной линии при гармоническом воздействии [9].

При экспофункциональном воздействии телеграфные уравнения для ядер экспофункций  $\tilde{u}(x, t) \equiv \tilde{u}$ ,  $\tilde{i}(x, t) \equiv \tilde{i}$  выглядят следующим образом [3]

$$-\frac{d\tilde{u}}{dx} = (R \pm IL)\tilde{i} + L\frac{d\tilde{i}}{dt}, \quad (2)$$

$$-\frac{d\tilde{i}}{dx} = (G \pm IC)\tilde{u} + C\frac{d\tilde{u}}{dt}, \quad (3)$$

где  $\lambda > 0$  – параметр, характеризующий экспофункциональное воздействие [1, 3],  $\tilde{u}$ ,  $\tilde{i}$  – произвольные функции напряжения и тока соответственно, не имеющие множитель  $e^{m\lambda t}$  [1, 3]. Из (2), (3) видно, что появились новые первичные параметры  $(R \pm \lambda L)$  и  $(G \pm \lambda C)$ , которые характеризуют потери в линии при экспофункциональном воздействии (используя нижний знак при  $\lambda$  можно добиться компенсации потерь в линии).

Опираясь на равенства (2), (3) и классическую запись выражений для коэффициента распространения линии и волнового сопротивления при гармоническом воздействии [9, 10], запишем выражения для составляющих передаточной функции по напряжению (1) при экспофункциональном воздействии с нижним знаком при  $\lambda$  для линии, первичные параметры  $R$  и  $G$  которой зависят от частоты: коэффициент распространения линии

$$\gamma(\lambda, f) = \sqrt{((R(f) - \lambda L) + j\omega L)((G(f) - \lambda C) + j\omega C)}; \quad (4)$$

волновое сопротивление

$$Z_{\tilde{a}}(\lambda, f) = \sqrt{\frac{(R(f) - \lambda L) + j\omega L}{(G(f) - \lambda C) + j\omega C}}. \quad (5)$$

Подставив выражения (4) и (5) в выражение (1), получим передаточную функцию по напряжению для модели однородной линии с частотнозависимыми потерями при экспофункциональном воздействии. Из выражений (4) и (5) также видно, что при частотнозависимых потерях в линии возможна полная компенсация потерь, но лишь на одной конкретно заданной частоте. При этом параметр  $\lambda$ , который характеризует экспофункциональное воздействие, рассчитывается по формуле [6]

$$\lambda(f) = \frac{R(f)C + G(f)L}{2LC} \quad (6)$$

для одной конкретно заданной частоты.

Значения частотнозависимых потерь определяем согласно следующим выражениям [11]

$$R(f) = R\sqrt{\frac{f}{f_n}}, \quad (7)$$

где  $R$  – распределенное сопротивление линии на частотах до  $f_n$ . Здесь  $f_n$  – пороговая частота;  $f$  – значение частоты свыше пороговой  $f_n$ . Значение проводимости изоляции линии на частотах свыше  $f_n$  возрастает согласно следующему выражению [11]

$$G(f) = G\frac{f}{f_n}, \quad (8)$$

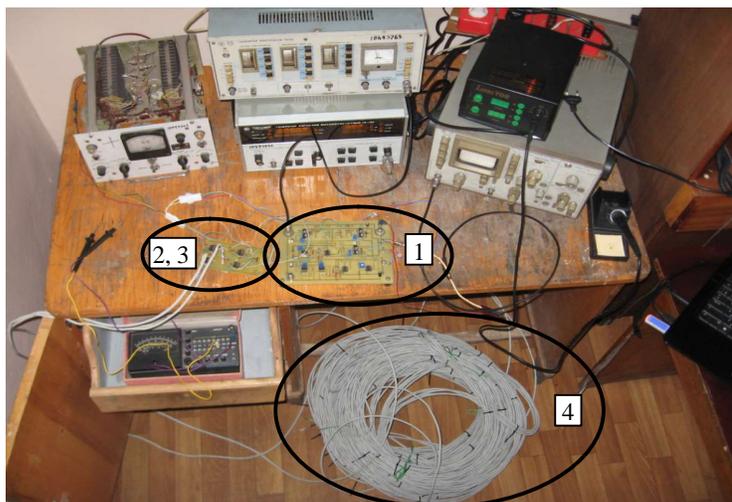
где  $G$  – проводимость изоляции линии на частоте  $f_n$ .

Для того чтобы приведенная выше математическая модель однородной линии с частотнозависимыми потерями при экспофункциональном воздействии отображала модель витой пары категории 5Е класса D необходимо задать значения первичных параметров линии  $R$ ,  $G$ ,  $L$ ,  $C$  на постоянном токе, а также сопротивление нагрузки  $R_n$ , длину отрезка линии  $l$  и пороговую частоту  $f_n$ , после которой потери приобретают зависимость от частоты.

В литературе [8, 12] приведены значения величин  $R$ ,  $G$ ,  $C$  на определенные длины отрезков витой пары. Отталкиваясь от указанных величин, получим значения первичных параметров линии на длину отрезка один метр:  $R = 0,095$  Ом/м,  $G = 0,2 \times 10^{-12}$  См/м,  $C = 52 \times 10^{-12}$  Ф/м, значения погонной индуктивности не трудно вычислить используя выражение для определения затухания в линии [9]  $L = 6,877 \times 10^{-7}$  Гн/м. Сопротивление нагрузки возьмем равное волновому сопротивлению  $R_n = Z_{\tilde{a}} = 115$  Ом [8, 12], длину отрезка витой пары  $l = 250$  м, пороговую частоту  $f_n = 30$  кГц [7].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Лабораторная установка, предназначенная для проведения натурального эксперимента, состоит из отрезка витой пары категории 5E класса D длиной  $l = 250$  м, макета устройства, предназначенного для анализа частотных и временных характеристик систем, содержащих реактивные элементы при экспофункциональном воздействии [13], двух согласующих устройств, осциллографа (С1-55), источника питания (БНН3-27), генератора гармонических сигналов (Г4-158) и генератора прямоугольных импульсов (Г5-54) (общий вид экспериментальной установки приведен на рис. 2).



**Рисунок 2** – Экспериментальная установка для измерения частотных и временных характеристик витой пары при экспофункциональных воздействиях (1 – макет [13]; 2, 3 – согласующие схемы; 4 – витая пара)

Соответствующий сигнал с генератора подается на вход макета устройства, предназначенного для анализа частотных и временных характеристик систем, содержащих реактивные элементы при экспофункциональном воздействии [13]. Для согласования указанного отрезка линии с макетом [13] собраны два согласующих устройства в виде активных преобразователей с симметрией относительно земли [14]. Входное согласующее устройство представляет собой активный преобразователь с несимметричным входом — симметричным выходом [14]. На вход данного устройства (несимметричный вход) подается экспофункциональный сигнал с макета [13], а к выходу (симметричный выход) подключается исследуемый отрезок витой пары. Выходное согласующее устройство представляет собой активный преобразователь с симметричным входом — несимметричным выходом [14]. На вход (симметричный вход) указанного устройства подключается второй конец исследуемого отрезка витой пары, а выход (несимметричный выход) указанного устройства соответственно подключается к макету [13]. С выхода макета [13] сигнал поступает на осциллограф. В случае, когда сигналы, подаваемые на вход отрезка витой пары, носят неэкспофункциональный характер, из экспериментальной установки исключается макет [13]. Другими словами, сигналы неэкспофункционального характера подаются с выхода соответствующего генератора на вход соответствующего согласующего устройства, с выхода согласующего устройства на вход витой пары, с выхода витой пары на вход еще одного согласующего устройства, а с выхода последнего согласующего устройства на соответствующий вход осциллографа.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТОЙ ПАРЫ

Рассмотрим частотные характеристики отрезка витой пары категории 5E класса D, полученные в результате моделирования (математическая модель (1)) и в результате проведения натурального эксперимента при гармоническом и экспогармоническом воздействии (при этом напомним, что подробный анализ математической модели витой пары при экспофункциональном воздействии проведен в работе [7]).

Результаты натурального и смоделированного эксперимента по измерению АЧХ указанной выше однородной линии с частотнозависимыми первичными параметрами  $R$  и  $G$  численно представлены в табл. 1 и проиллюстрированы на рис. 3. Параметр  $\lambda$  рассчитан по формуле (6) для частоты 40 кГц ( $\lambda = 8,102 \cdot 10^4 \text{ п}^{-1}$ ). Необходимо отметить, что экспериментально измерить АЧХ исследуемого отрезка линии удалось в диапазоне частот 0 – 50 кГц (АЧХ в диапазоне частот свыше 50 кГц получены в результате анализа математической модели исследуемого отрезка линии). Указанный диапазон частот ограничен частотой среза операционных усилителей, использующихся в описанных выше согласующих устройствах.

Необходимо отметить, что отличие результатов измерений АЧХ при экспофункциональном воздействии, полученных в ходе моделирования исследуемой линии, и натурального эксперимента лежит в пределах 5 – 10 % относительно измеренных напряжений (в ходе натурального эксперимента в качестве измерительного прибора использовался осциллограф С1-55).

Таблица 1 – Значения АЧХ отрезка витой пары категории 5Е класса D

$f$ , кГц	АЧХ отрезка витой пары при гармоническом воздействии (А, дБ) (моделирование, натуральный эксперимент)	АЧХ отрезка витой пары при экспо-синусоидальном воздействии (А, дБ) (моделирование)	АЧХ отрезка витой пары при экспо-синусоидальном воздействии (А, дБ) (натуральный эксперимент)
10	1,62	0	–
20	1,63	0	0,265
30	1,63	0	0,175
40	1,82	0	0,175
48	1,98	1,024	0,915

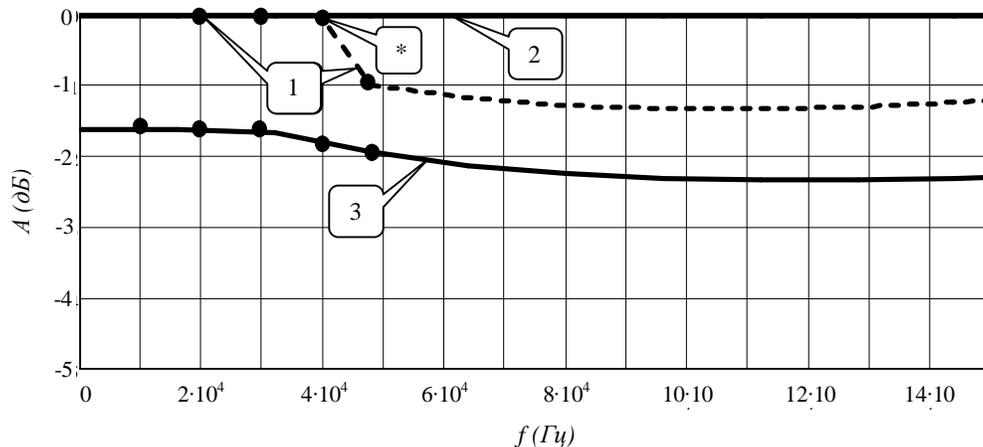


Рисунок 3 – АЧХ витой пары:

- 1 – с потерями при экспофункциональном воздействии;
- 2 – без потерь;
- 3 – с потерями при гармоническом воздействии.

На рисунке 3 кривая 1 – это АЧХ линии с частотнозависимыми потерями при экспофункциональном воздействии (параметр  $\lambda = 8,102 \cdot 10^4 \text{ п}^{-1}$  рассчитан для частоты 40 кГц по формуле (6); точками на кривой отображены измеренные значения АЧХ в ходе натурального эксперимента, численные значения которых приведены в табл. 1; (\*) – точка полной компенсации потерь в линии, кривая 2 – это АЧХ модели линии без потерь (данная кривая получена в результате анализа математической модели исследуемого отрезка витой пары), кривая 3 – это АЧХ линии с частотнозависимыми потерями при гармоническом воздействии (точками на кривой отображены измеренные значения АЧХ в ходе натурального эксперимента, численные значения которых приведены в табл. 1).

Проанализируем кривые АЧХ, представленные на рис. 3. Кривая 1 (АЧХ модели линии с частотнозависимыми потерями при экспофункциональном воздействии) в точности совпадает с кривой 2 (АЧХ модели линии без потерь) в диапазоне частот 0 – 40 кГц, что говорит о полной компенсации потерь в исследуемой линии в указанном диапазоне частот. В диапазоне частот 40 – 48 кГц наблюдается резкое падение АЧХ (кривая 1), такое поведение указанной кривой обусловлено тем, что полная компенсация потерь в линии осуществляется в диапазоне частот до 40 кГц, а после указанной частоты экспофункциональный сигнал способен компенсировать потери лишь частично. Анализируя кривую 3 (АЧХ линии с частотнозависимыми потерями при гармоническом воздействии), можно отметить резкое возрастание величины частотнозависимых потерь в исследуемой линии в диапазоне частот 33 – 50 кГц по отношению к более плавному возрастанию указанных потерь в диапазоне частот свыше 50 кГц, что также сказывается на ходе кривой 1 в диапазоне частот 40 – 48 кГц. Если сравнить АЧХ исследуемой линии при экспофункциональном воздействии (кривая 1) с АЧХ той же линии при гармоническом воздействии (кривая 3) в диапазоне частот свыше 50 кГц, то можно утверждать, что в указанном диапазоне четко прослеживается частичная компенсация частотнозависимых потерь в линии при экспофункциональном воздействии. Таким образом, проанализировав результаты натурального эксперимента по измерению АЧХ витой пары при экспофункциональных воздействиях и результаты моделирования того же эксперимента, можно утверждать, что данные моделирования и натурального эксперимента совпадают с высокой степенью точности, что подтверждает достоверность полученных ранее результатов при моделировании однородных линий с частотнозависимыми первичными параметрами.

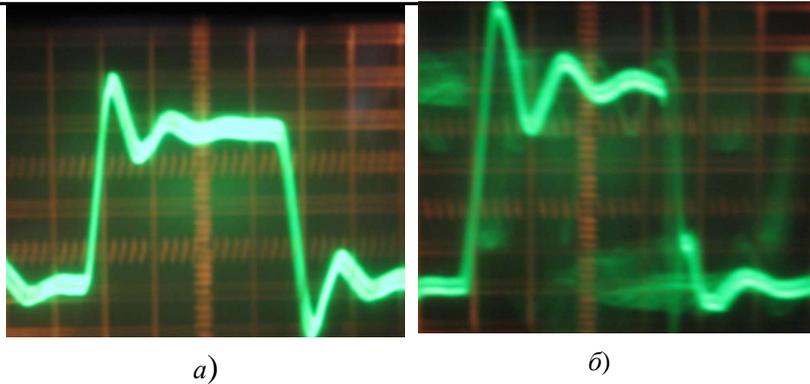
### ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТОЙ ПАРЫ

На следующем этапе проиллюстрируем результаты экспериментов по прохождению П-импульса и экспо-П-образного импульса через отрезок витой пары категории 5Е класса D, при этом отметим, что подробные исследования прохождения П-импульса и экспо-П-образного импульса через модель отрезка витой пары категории 5Е класса D описаны в работе [7], где теоретически показано, что экспо-П-образный сигнал способен компенсировать частотнозависимые потери в отрезке витой. В данной работе рассмотрим результаты только натурального эксперимента.

Проведем натуральный эксперимент по прохождению П-образного и экспо-П-образного импульса через отрезок витой пары категории 5Е класса D длиной  $l = 250$  м. Параметры П-образного сигнала, подаваемого на вход исследуемой линии и на вход макета [13], возьмем следующие: частота следования импульсов  $f = 40$  кГц, длительность П-импульса  $t_{\text{э}} = 12$  мкс, амплитуда  $U = 1$  В.

Подадим П-образный сигнал, описанный выше, на вход исследуемого отрезка витой пары и проанализируем выходную характеристику (рис. 4а, измерительный прибор – осциллограф С1-55). На следующем этапе эксперимента подадим П-образный сигнал на вход макета [13], где будет сформирован экспо-П-образный сигнал (параметр  $\lambda$  рассчитан по формуле (6) для частоты 40 кГц ( $\lambda = 8,102 \cdot 10^4 \text{ п}^{-1}$ )), который подается через входное согласующее устройство на вход исследуемого отрезка витой пары. Экспо-П-образный сигнал с выхода исследуемого отрезка витой пары через выходное согласующее устройство подается на один из узлов макета [13], где выполняется восстановление П-образного сигнала, который, в свою очередь, поступает на выход макета [13] (рис. 4б, измерительный прибор – осциллограф С1-55) (экспериментальная установка показана на рисунке 2).

На рисунке 4а изображен П-образный импульс на выходе витой пары категории 5Е класса D без эксповоздействия (цена деления по вертикали составляет 0,2 В, по горизонтали – 3 мкс). На рис. 4б изображен П-образный импульс на выходе макета [13], в который включена витая пара категории 5Е класса D, т.е. показан П-образный импульс на выходе исследуемой линии при эксповоздействии (цена деления по вертикали составляет 0,2 В, по горизонтали – 3 мкс). Таким образом, на рис. 4а четко видно, что амплитуда П-импульса на выходе отрезка витой пары (без эксповоздействия) составляет 0,79 В, а на рис. 4б, где изображен П-импульс, восстановленный после эксповоздействия, четко видно, что амплитуда указанного П-импульса равна 1В, а это, в свою очередь, экспериментально подтверждает способность экспофункциональных сигналов компенсировать потери, существующие в исследуемой линии что, и требовалось показать экспериментально. Отметим также, что представленные в данной работе результаты натурального эксперимента по прохождению П-импульса и экспо-П-образного импульса через отрезок витой пары категории 5Е класса D качественно совпадают с результатами моделирования того же эксперимента, описанного в работе [7].



**Рисунок 4** – П-импульсы на выходе витой пары категории 5E класса D

Таким образом, в данной работе проведены натурные исследования отрезка витой пары категории 5E класса D при условии воздействия на указанную однородную линию сигналами, которые носят как экспофункциональный, так и неэкспофункциональный характер. Анализ проведенных исследований в частотной области показывает, что экспофункциональный сигнал способен компенсировать частотнозависимые потери, существующие в отрезке витой пары, при условии расчета параметра экспофункционального сигнала  $\lambda$  согласно выражению (6). Анализ временных характеристик, полученных в результате натурального эксперимента, подтверждает тот факт, что экспофункциональный сигнал способен компенсировать частотнозависимые потери в однородных линиях и, тем самым, подтверждают достоверность частотных характеристик, полученных в данной работе. Опираясь на результаты исследования витой пары, приходим к выводу, что при необходимости, используя экспофункциональный сигнал, можно несколько улучшить рабочие характеристики исследуемой однородной линии с точки зрения скорости передачи информации. И, наконец, результаты натурального эксперимента, полученные в данной работе, подтверждают достоверность всех результатов теоретических исследований однородных линий при экспофункциональных воздействиях, проведенных ранее.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Іваницький А. М. Явище виділення активної потужності реактивними елементами електричного кола / Диплом на відкриття НВ № 3, зареєстровано 12.01.99; пріоритет від 30.11.94.
2. Іваницький А. М. Исследование прохождения экспофункциональных сигналов через линейные электрические цепи с распределенными параметрами / А. М. Іваницький, Д. Г. Паску // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2008. – № 2. – С. 5 – 9.
3. Іваницький А. М. Телеграфные уравнения однородных линий при экспофункциональных сигналах / А. М. Іваницький, М. В. Рожновский // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2009. – № 1. – С. 56 – 53.
4. Іваницький А. М. Прохождение экспо-П-образных сигналов через длинную однородную линию без искажений / А. М. Іваницький, М. В. Рожновский // Цифровые технологии. – 2008. – № 4. – С. 93 – 102.
5. Іваницький А. М. Вторичные параметры однородной линии в общем виде при экспофункциональных воздействиях / А. М. Іваницький, М. В. Рожновский // Известия высших учебных заведений «Радиоэлектроника». – К. – 2011. – Т. 54, № 6 – С. 58 – 64.
6. Іваницький А. М. Компенсация потерь в линиях с частотнозависимыми первичными параметрами  $R$  и  $G$  с помощью экспофункциональных сигналов / А. М. Іваницький, М. В. Рожновский // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 93 – 101.
7. Рожновский М. В. Исследования витой пары при экспофункциональных воздействиях / М. В. Рожновский // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2010. – № 2. – С. 93 – 101.
8. IEEE Standard for Information technology: Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks. Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications: IEEE Std 802.3 – 2002. – 1538 p. (Международный стандарт).
9. Атабеков Г. И. Основы теории цепей / Атабеков Г. И. – М.: Энергия, 1969. – 424с. – (Учебник для вузов).
10. Зелях Э. В. Основы общей теории линейных электрических схем / Зелях Э. В. – М.: АН СССР, 1951. – 236 с.

11. Thierauf Stephen C. High-Speed Circuit Board Signal Integrity / Thierauf Stephen C. – Artech House, Inc. Boston, London, 2004. – 243 p.
12. Парфенов Ю.А. Кабели электросвязи / Парфенов Ю.А. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 256 с.
13. Иваницкий А.М. Устройство измерения амплитудно-частотных характеристик систем, содержащих реактивные элементы при периодических экспогармонических воздействиях / А.М. Иваницкий, Д.Г. Паску // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2005. – № 2. – С. 66 – 70.
14. Иваницкий А.М. Исследование идеальных активных преобразователей с симметрией относительно земли / А.М. Иваницкий, Н.Я. Олешко. – М., 1978. – 29 с. – Деп. в НИИЭИР, №3-5698; опубл. в РЖ серия: Общетеchnическая, ВИМИ. – 1978. – №17.