

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭКСПОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ  
ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ  
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

**INVESTIGATION OF EXPOFUNCTIONAL SIGNALS PASSAGE THROUGH  
LINEAR ELECTRIC CIRCUITS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS**

**Аннотация.** Исследованы переходные характеристики систем, содержащих электрические цепи с распределенными параметрами при экспофункциональном воздействии. Исследованы отклики таких систем на последовательность прямоугольных импульсов. Измерены амплитудно-частотные характеристики систем, содержащих электрические цепи с распределенными параметрами при экспогармоническом воздействии. Подтверждено наличие компенсации потерь в электрических цепях с распределенными параметрами при использовании экспофункциональных сигналов. Все исследования проведены на моделях однородных линий.

**Summary.** Transient characteristics of the systems, containing electric circuits with distributed parameters under expofunctional excitation, are investigated. Square-wave responses of such systems are investigated. Amplitude-frequency characteristics of the systems, containing electric circuits with distributed parameters under expoharmonical excitation, are measured. These investigations have proved the losses compensation in the electric circuits with distributed parameters at the use of expofunctional signals. All researches are carried out on models of homogeneous lines.

Главной причиной появления проблемы ограничения сверху рабочей длины любой линии передачи является наличие потерь в линии, т.е. наличие потерь в погонных реактивных элементах электрической цепи с распределенными параметрами [1]. Поэтому компенсация потерь энергии сигнала в погонных реактивных элементах такой цепи способствует решению этой проблемы. Одним из способов решения указанной задачи является сигнальный способ компенсации потерь электрической энергии в электрических цепях [2, 3], в основу которого положено явление выделения активной мощности реактивными элементами при экспофункциональном воздействии [4]. Теоретическое обоснование указанного способа описано в [5] для сигналов с ограниченной длительностью и в [6] для сигналов с произвольной длительностью. В работах [7, 8] показана возможность компенсации потерь в цепях первого порядка, содержащих реактивные элементы, при использовании периодических экспогармонических сигналов. В работах [9 ... 11] показана возможность улучшения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) LC-фильтров с потерями как малых, так и высоких порядков при использовании периодических экспогармонических сигналов. Однако в литературе отсутствуют сведения об исследовании как переходных характеристик систем, содержащих электрические цепи с распределенными параметрами с потерями при экспофункциональных воздействиях, так и откликов таких систем на периодические сигналы указанной формы. Также в литературе отсутствуют сведения о применении периодических экспогармонических сигналов для улучшения АЧХ электрических цепей с распределенными параметрами. Поэтому целью данной статьи является исследование систем, содержащих электрические цепи с распределенными параметрами, с потерями при воздействии на данные цепи экспофункциональных сигналов.

**1. Моделирование однородной линии в среде Multisim.** Для моделирования однородной линии удобно рассматривать линию в виде электрической цепи с распределенными параметрами [1]. Модель такой однородной линии состоит из  $n$  Т-образных звеньев и представляет собой многозвенный фильтр нижних частот (ФНЧ) типа „к” с потерями в элементах фильтра, показанный на рис. 1.

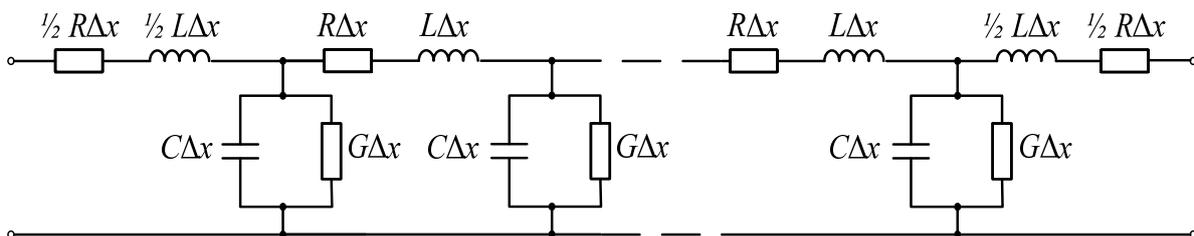


Рисунок 1 – Модель однородной линии

На рис. 1 использованы следующие обозначения:  $\Delta x$  – длина элементарного участка однородной линии;  $R$  – сопротивление единицы длины линии;  $L$  – индуктивность единицы длины линии;  $C$  – емкость единицы длины линии;  $G$  – проводимость единицы длины линии. Чем больше величина  $n$  (меньше величина  $\Delta x$ ), тем точнее модель линии описывает электромагнитное состояние однородной линии. Исследования в данной статье проведены для однородных линий без искажений, т.е. линий для которых справедливо следующее соотношение между ее первичными параметрами [1]:

$$\frac{R}{L} = \frac{G}{C}. \quad (1)$$

Волновое сопротивление такой линии определяется выражением:

$$Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2)$$

Модель однородной линии без потерь ( $R = 0$  и  $G = 0$ ), нагруженной на сопротивление нагрузки  $R_H = Z_B$ , представлена на рис. 2.

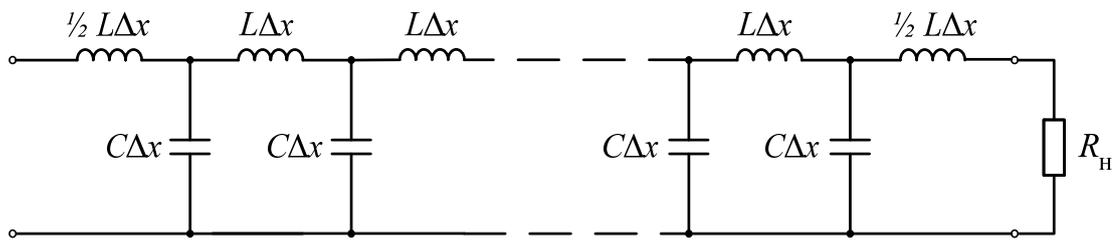


Рисунок 2 – Модель однородной линии без потерь

В данной работе все исследования проведены для однородной линии без искажений со следующими параметрами:  $R = 42,9$  Ом/км;  $L = 7,77$  мГн/км;  $C = 6$  нФ/км;  $G = 33$  мкСм/км;  $Z_B = 1138$  Ом. Длина линии  $l = 1$  км, число звеньев в модели однородной линии  $n = 10$ .

**2. Исследование переходных характеристик систем, содержащих модели однородных линий при экспофункциональном единичном скачке напряжения.** Данные исследования проведены в соответствии с алгоритмом, описанном в [10], с помощью устройства измерения АЧХ, подробно описанном в [9]. В качестве воздействия, прикладываемого к системе, использован единичный скачок напряжения; при этом на вход модели однородной линии прикладывается экспофункциональный единичный скачок – это единичный скачок напряжения, умноженный на экспоненту [11]. Схема одного звена в модели однородной линии без потерь представлена на рис. 3. Схема одного звена в модели однородной линии с потерями представлена на рис. 4.

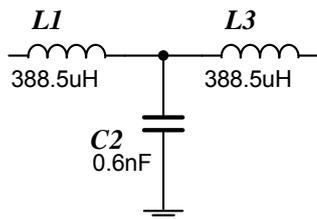


Рисунок 3 – Схема одного звена в модели однородной линии без потерь

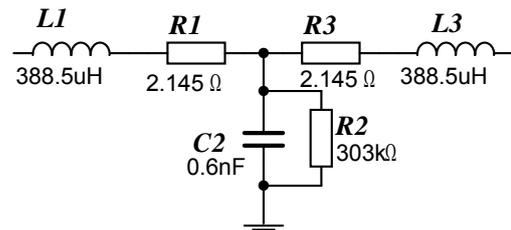


Рисунок 4 – Схема одного звена в модели однородной линии с потерями

С помощью среды моделирования Multisim получены графики откликов, представленные на рис. 5 и рис. 6.

При сравнении графика переходной характеристики на рис. 5 (тонкая линия) с графиком переходной характеристики на рис. 6 видно, что временной график переходной характеристики системы, содержащей модель линии с потерями при экспофункциональном единичном скачке напряжения, практически совпадает с временным графиком переходной характеристики соответствующей модели линии без потерь. Аналогичные результаты получены и при числе звеньев  $n = 100$ .

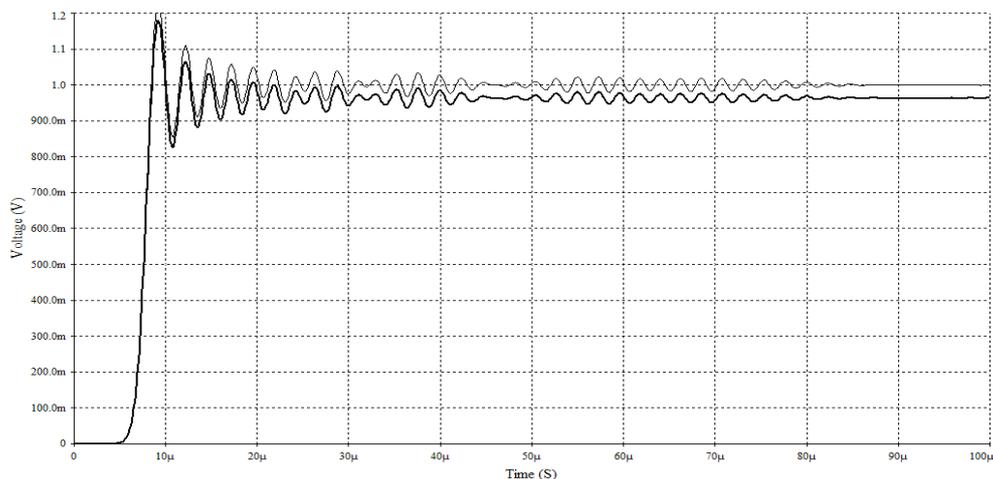


Рисунок 5 – Переходная характеристика линии длиной 1 км ( $n = 10$ ) без потерь (тонкая линия) и с потерями (жирная линия)

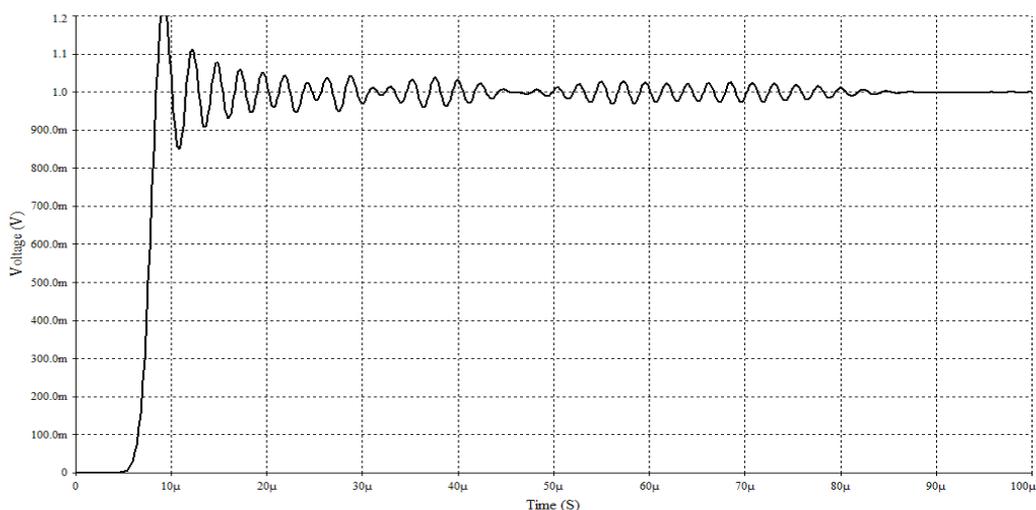


Рисунок 6 – Переходная характеристика линии длиной 1 км ( $n = 10$ ) с потерями при экспоненциальном воздействии

**3. Исследование откликов систем, содержащих модели линий при периодических экспоненциальных сигналах.** Данные исследования проведены в соответствии с алгоритмом, описанном в предыдущем пункте. В качестве воздействия, прикладываемого к системе, использована периодическая последовательность П-импульсов.

С помощью среды моделирования Multisim получены графики откликов, представленные на рис. 7 и 8.

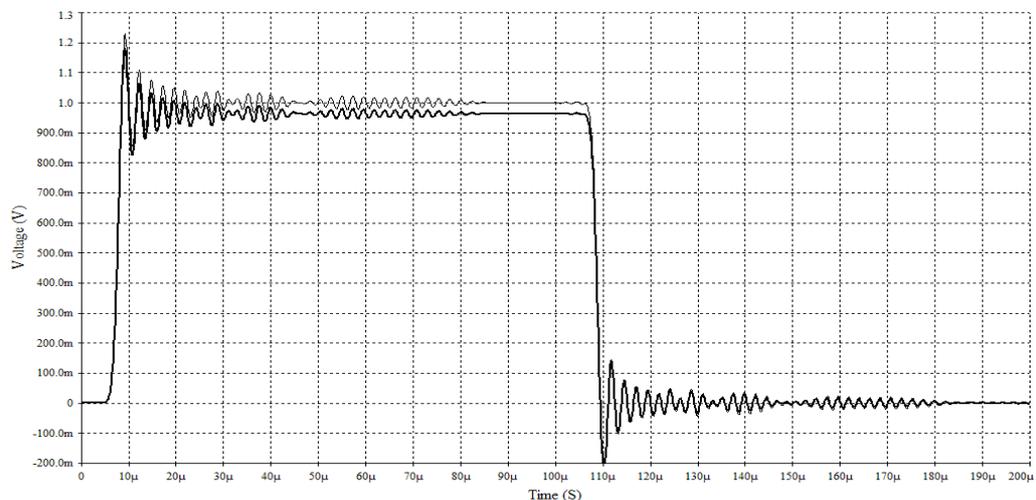


Рисунок 7 – П-импульс на выходе линии длиной 1 км ( $n = 10$ ) без потерь (тонкая линия) и с потерями (жирная линия)

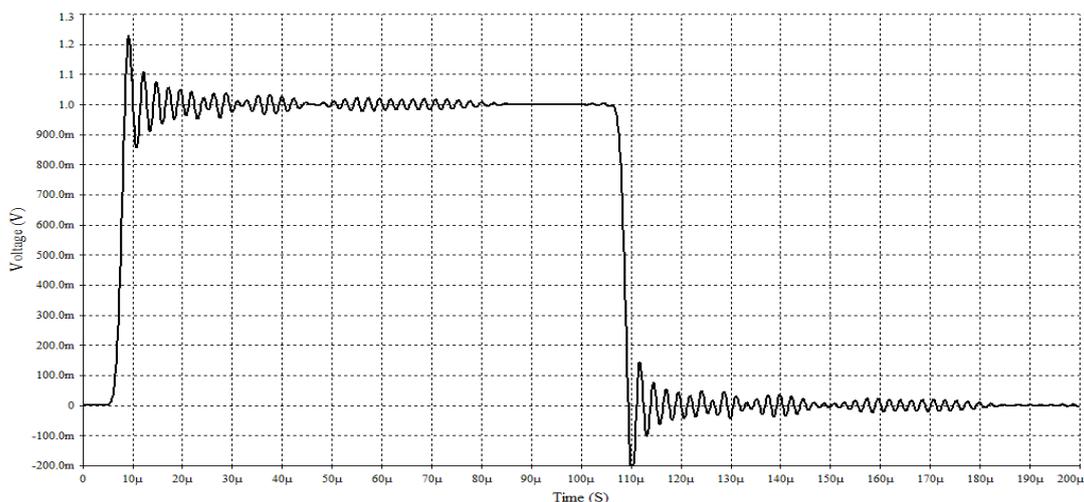


Рисунок 8 – П-импульс на выходе линии длиной 1 км ( $n = 10$ ) с потерями при экспофункциональном воздействии

При сравнении графика отклика на рис. 7 (тонкая линия) с графиком отклика на рис. 8 видно, что временной график отклика системы, содержащей линию с потерями при экспо-П-образном сигнале (каждый импульс П-образного сигнала умножен на экспоненту) практически совпадает с временным графиком отклика соответствующей линии без потерь. Аналогичные результаты получены и при числе звеньев  $n = 100$ .

**4. Улучшение АЧХ модели однородной линии с потерями.** Данные исследования проведены также в соответствии с алгоритмом, описанном в предыдущем разделе. Произведено измерение АЧХ модели линии с потерями и АЧХ модели линии без потерь при гармоническом воздействии (показаны на рис. 9). Затем произведено измерение АЧХ системы, содержащей модель линии с потерями при экспогармоническом воздействии (показана на рис. 10).

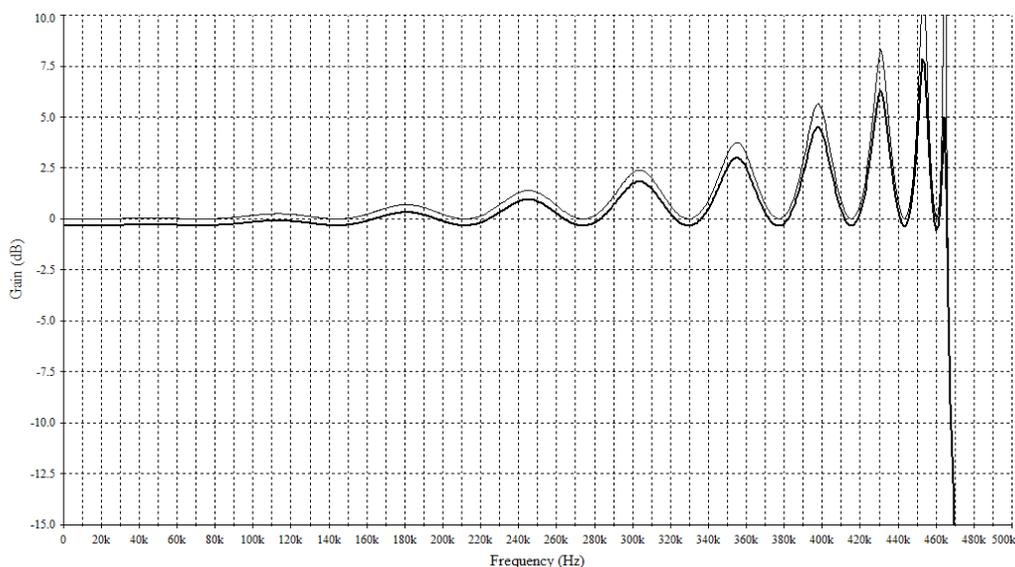


Рисунок 9 – АЧХ модели линии длиной 1 км ( $n = 10$ ) без потерь (тонкая линия) и с потерями (жирная линия).

При сравнении графика АЧХ на рис. 9 (тонкая линия) с графиком АЧХ на рис. 10 видно, что график АЧХ системы, содержащей модель линии с потерями при экспогармоническом воздействии, практически совпадает с графиком АЧХ соответствующей модели линии без потерь. Аналогичные результаты получены и при числе звеньев  $n = 100$ .

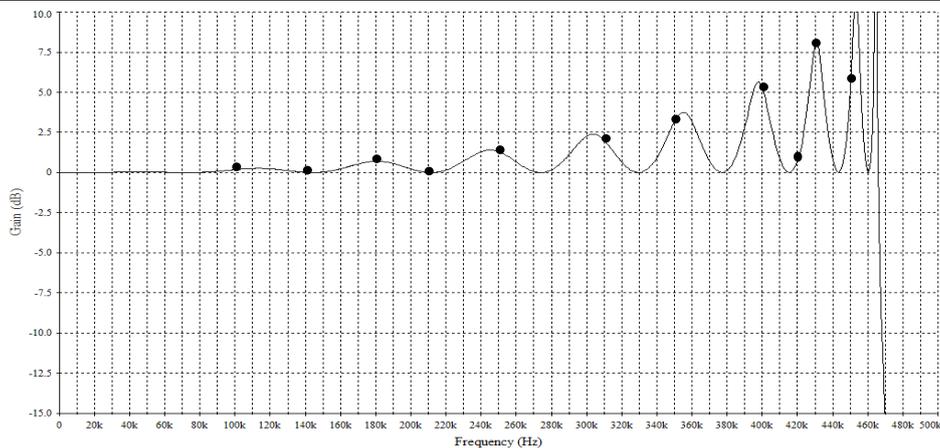


Рисунок 10 – АЧХ моделі лінії довжини 1 км ( $n = 10$ ) з потерями при експогармонічному впливі, показанні точками на кривій, відповідній моделі лінії без втрат

Проаналізуємо всі отримані результати. Із порівняння графіків перехідних характеристик, откликов і АЧХ системи, що містить модель однорідної лінії з втратами при експофункціональному впливі, з графіками відповідно перехідних характеристик, откликов і АЧХ моделі однорідної лінії без втрат слідують, що перехідні характеристики, отклики і АЧХ системи, що містить модель однорідної лінії з втратами при експофункціональному впливі, наближаються до перехідних характеристик, откликам і АЧХ відповідної моделі однорідної лінії без втрат. При цьому, практично повністю збігаються форми откликов, миттєві значення откликов і положення їх екстремумів. Це стало можливим внаслідок компенсації втрат в моделі однорідної лінії. Із цього слідують, що існує можливість покращення характеристик однорідних ліній передач при експофункціональних впливах.

Таким чином, в даній роботі проведено дослідження системи, що містить електричні цепі з розподіленими параметрами з втратами, при впливі на дані цепі експофункціонального єдиного скачка і експо-П-образних сигналів. Також в даній роботі продемонстрована можливість компенсації втрат в електричних цепях з розподіленими параметрами і можливість покращення АЧХ таких цепей з допомогою періодичних експогармонічних сигналів. Всі дослідження проводились на моделях однорідних ліній.

### Література

1. Атабеков Г.И. Основы теории цепей / Атабеков Г.И. – М.: Энергия, 1969. – 424 с.
2. Пат. 24456А Україна, МКИ Н03Н 7/03, Н03Н 11/06. Спосіб компенсації втрат резонансного контура: Пат. 24456А Україна, МКИ Н03Н 7/03, Н03Н 11/06 А.М. Іваницький (Україна); – № 94076326; Заявл. 21.07.94; Опубл. 21.07.98.
3. Пат. 30905А Україна, МКИ Н03Н 7/03, Н03Н 11/06, Н02М 9/00. Сигнальний спосіб компенсації втрат електричної енергії в електричному колі: Пат. 30905А Україна, МКИ Н03Н 7/03, Н03Н 11/06, Н02М 9/00 А.М. Іваницький (Україна); – № 98063158; Заявл. 17.06.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7 -11.
4. Іваницький А.М. Явище виділення активної потужності реактивними елементами електричного кола / Диплом на відкриття НВ №3, зареєстровано 12.01.99; пріоритет від 31.11.94// Винахідник України. – 1999. – №2; – 2000. – №1. – С. 121-126.
5. Іваницький А.М. Реактивні елементи при експофункціональних впливах / Іваницький А.М. // Інформатика і зв'язь: Сб. науч. тр. Укр. госуд. акад. зв'язи ім. А.С. Попова. – Одеса, 1996. – № 1. – С. 236 – 240.
6. Іваницький А.М. Компенсація втрат електричної енергії в електричній ланці при впливі сигналів довільної тривалості // Наукові праці УДАЗ ім. О. С. Попова. – Одеса, 1999. №1.– С. 50-52.
7. Іваницький А.М. Дослідження ланок першого порядку при періодичному експофункціональному впливі / Іваницький А.М., Паску Д.Г. // Наукові праці ОНАС ім. О.С. Попова. – Одеса, 2004. – №3. – С. 40-45.
8. Іваницький А.М. Исправления к статье "Исследование цепей первого порядка при периодическом экспофункциональном воздействии" / Іваницький А.М., Паску Д.Г. // Наукові праці ОНАС ім. О.С. Попова. – Одеса, 2005. – №1. – С. 98.
9. Іваницький А.М., Паску Д.Г. Устройство измерения амплитудно-частотных характеристик систем, содержащих реактивные элементы при периодических экспогармонических воздействиях // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 2005. – № 2. – С. 66-70.
10. Іваницький А.М., Паску Д.Г., Катречко Е.Н. Амплитудно-частотные характеристики LC-фильтров высокого порядка при периодических экспогармонических сигналах // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 2006. – № 1. – С. 80 – 86.
11. Іваницький А.М., Паску Д.Г. Исследование прохождения периодических экспофункциональных сигналов через LC-фильтры // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 2007. – № 2. – С. 40-45.