

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЭКСПОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ НА LC-ФИЛЬТРЫ С ПОТЕРЯМИ

Иваницкий А.М., Паску Д.Г.

PERIODIC EXPOFUNCTIONAL SIGNALS INFLUENCES ON LC-FILTERS WITH THE LOSSES

Ivanitskiy A.M., Pasky D.G.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

Исследованы переходные характеристики систем, содержащих различные LC-фильтры с потерями при экспофункциональном единичном скачке напряжения. Исследованы отклики систем, содержащих LC-фильтры с потерями при экспофункциональном воздействии, на различные периодические сигналы. Проведенные исследования во временной области подтвердили факт компенсации потерь в LC-фильтрах при использовании экспофункциональных сигналов.

Известно, что наличие потерь в реактивных элементах LC-фильтров, приводит к ухудшению избирательности фильтров. Поэтому, компенсация потерь энергии сигнала в элементах фильтров, способствует решению проблемы уменьшения затухания в полосе пропускания, и улучшению избирательности LC-фильтров. Одним из способов улучшения избирательности LC-фильтров, является сигнальный способ компенсации потерь электрической энергии в электрических цепях [1], в основу которого положено явление выделения активной мощности реактивными элементами при экспофункциональном воздействии [2]. В работе [3] показана возможность улучшения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) LC-фильтра нижних частот (ФНЧ) третьего порядка с потерями при использовании периодических экспогармонических сигналов. Однако в литературе, отсутствуют сведения об исследовании, как переходных характеристик систем, содержащих различные LC-фильтры с потерями при экспофункциональных воздействиях, так и откликов различных LC-фильтров на периодические экспофункциональные сигналы. Поэтому целью данной статьи, является исследование во временной области систем, содержащих различные LC-фильтры с потерями, при воздействии на данные фильтры экспофункционального единичного скачка и различных периодических экспофункциональных сигналов.

1. Исследование переходных характеристик систем, содержащих различные LC-фильтры с потерями при экспофункциональном единичном скачке напряжения

Данные исследования проведены в соответствии с алгоритмом, описанном в [4], с помощью устройства измерения АЧХ, подробно описанного в [3]. В качестве воздействия, прикладываемого к системе, использован единичный скачок напряжения. Вначале исследуем переходную характеристику системы, содержащей ФНЧ Чебышева 3-го порядка с потерями. Основные параметры фильтра:

- полоса пропускания (ПП) $0 \leq f \leq f_1$;
- граничная частота ПП $f_1 = 10$ кГц;
- ослабление на частоте f_1 , $a_1 = 3$ дБ;
- сопротивление источника и сопротивление нагрузки $R_g = R_n = 1$ кОм.

Схема фильтра без потерь представлена на рис. 1.

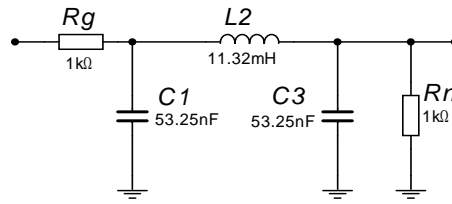


Рисунок 1 Схема ФНЧ 3-го порядка без потерь

Зададимся на граничной частоте $f_1 = 10$ кГц, значениями добротностей катушек индуктивности и конденсаторов $Q_L = Q_C = 30$. Отсюда $\lambda = \omega_1/Q_L = 2128$ [4]. Введем в схему LC-фильтра сопротивления потерь катушек индуктивности $R_k = \lambda L_k$ и конденсаторов $R_k = 1/(\lambda C_k)$. Схема полученного фильтра с потерями представлена на рис. 2.

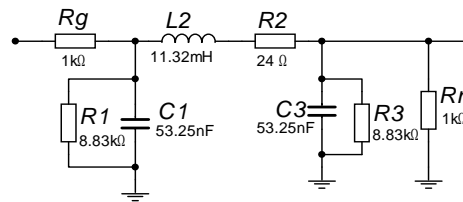


Рисунок 2 Схема ФНЧ 3-го порядка с потерями

С помощью среды моделирования Multisim, получены графики прикладываемых воздействий и откликов, представленные на рис. 3 - 5.

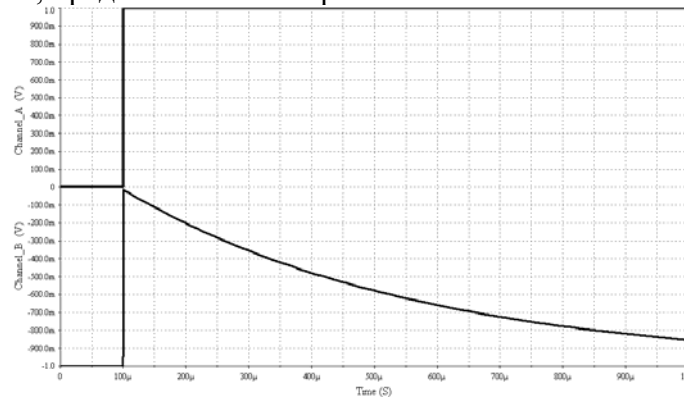


Рисунок 3 Единичный скачок на входе системы (канал А), задающее на входе ФНЧ с потерями (канал В, смещен вниз на 1 В) экспофункциональное напряжение

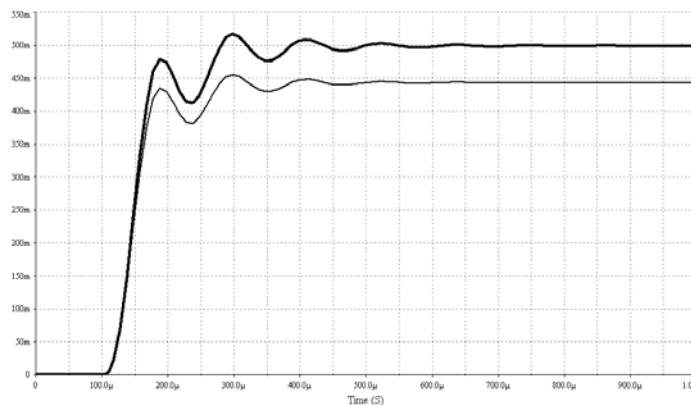


Рисунок 4 Переходная характеристика ФНЧ без потерь (жирная линия), переходная характеристика ФНЧ с потерями (тонкая линия)

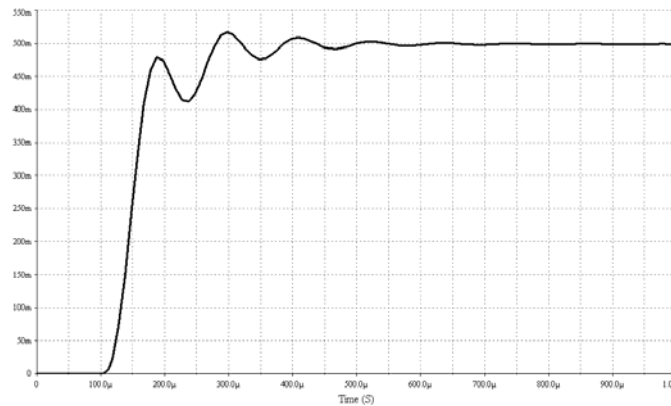


Рисунок 5 Переходная характеристика системы, содержащей ФНЧ с потерями при экспофункциональном единичном скачке

Переходная характеристика системы, содержащая ФНЧ Чебышева 3-го порядка с потерями при экспофункциональном единичном скачке, также исследована с помощью макета, созданного в соответствии с [3]. Отличие результатов, полученных с помощью среды моделирования Multisim, от результатов, полученных с помощью собранного макета, составило 0,2 %. Удовлетворительное совпадение результатов дало возможность проводить исследования переходных характеристик других фильтров в среде моделирования Multisim.

Исследуем переходную характеристику системы, содержащей ПФ Баттерворта 8-го порядка с потерями. Основные параметры фильтра:

- полоса пропускания (ПП) $f_1 \leq f \leq f_2$;
- первая граничная частота ПП $f_1 = 8$ кГц;
- вторая граничная частота ПП $f_2 = 12,5$ кГц;
- ослабление на частотах f_1 и f_2 , $a_1 = a_2 = 3$ дБ;
- сопротивление источника и сопротивление нагрузки $R_g = R_n = 1$ кОм.

Схема фильтра без потерь представлена на рис. 6.

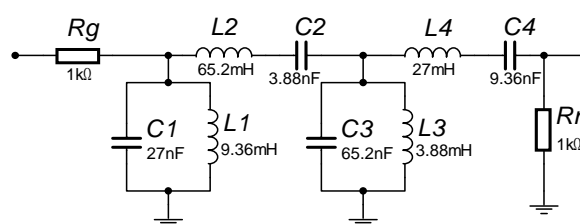


Рисунок 6 Схема ПФ 8-го порядка без потерь

Зададимся на граничной частоте $f_1 = 10$ кГц, значениями добротностей катушек индуктивности и конденсаторов $Q_L = Q_C = 30$. Отсюда $\lambda = \omega_1/Q_L = 2128$ [4]. Введем в схему LC-фильтра сопротивления потерь катушек индуктивности $R_k = \lambda L_k$ и конденсаторов $R_k = 1/(\lambda C_k)$. Схема полученного фильтра с потерями представлена на рис. 7.

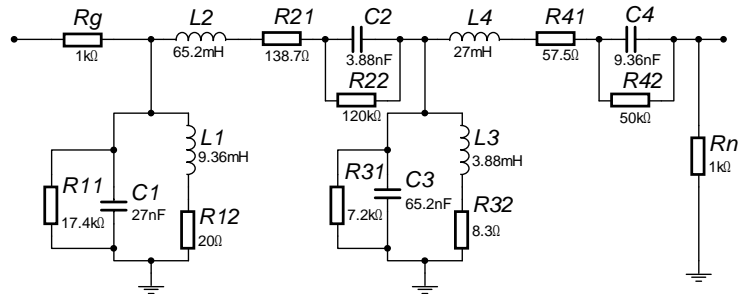


Рисунок 7 Схема ПФ 8-го порядка с потерями

Графики откликов на аналогичные воздействия (рис. 3), получены с помощью среды моделирования Multisim и представлены на рис. 8 и рис. 9.

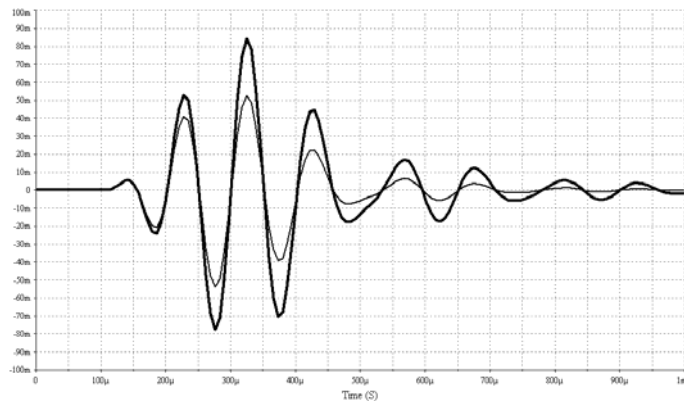


Рисунок 8 Переходная характеристика ПФ без потерь (жирная линия), переходная характеристика ПФ с потерями (тонкая линия)

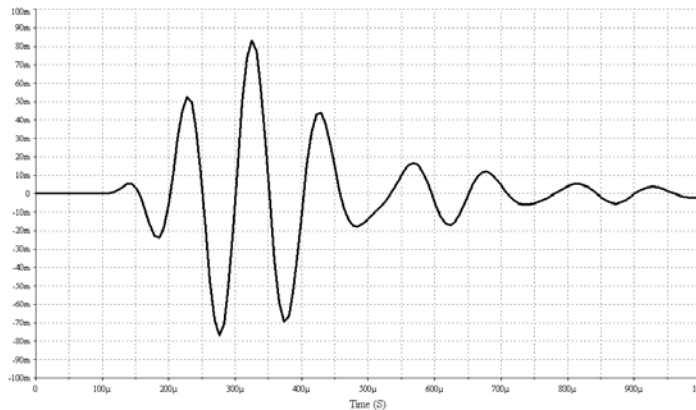


Рисунок 9 Переходная характеристика системы, содержащей ПФ с потерями, при воздействии экспофункционального единичного скачка

При сравнении графика переходной характеристики на рис. 4 (жирная линия), с графиком переходной характеристики на рис. 5, а также графика на рис. 8 (жирная линия), с графиком на рис. 9, видно, что временные графики переходных характеристик систем, содержащих LC-фильтры с потерями при экспофункциональном единичном скачке

напряжения, практически совпадают с временными графиками переходных характеристик, соответствующих LC-фильтров без потерь. Аналогичные результаты получены при исследовании с помощью среды Multisim переходных характеристик системы, содержащей ФНЧ Кауэра - Золотарева 6-го порядка с потерями.

2. Исследование откликов систем, содержащих LC-фильтры с потерями, при воздействии на данные системы различных испытательных периодических сигналов

Данные исследования проведены в соответствии с алгоритмом, описанном в [4], с помощью устройства измерения АЧХ, подробно описанного в [3]. В качестве испытательных сигналов использованы: периодическая последовательность прямоугольных импульсов, периодическая последовательность коротких прямоугольных импульсов, периодическая последовательность пилообразных импульсов, а также последовательность коротких прямоугольных импульсов, модулированная по гармоническому закону.

Исследуем отклики системы, содержащей ФНЧ Чебышева 3-го порядка с потерями (рис. 1), при воздействии различных периодических испытательных сигналов. С помощью среды моделирования Multisim, получены графики прикладываемых воздействий и откликов, представленные на рис. 10 - 17.

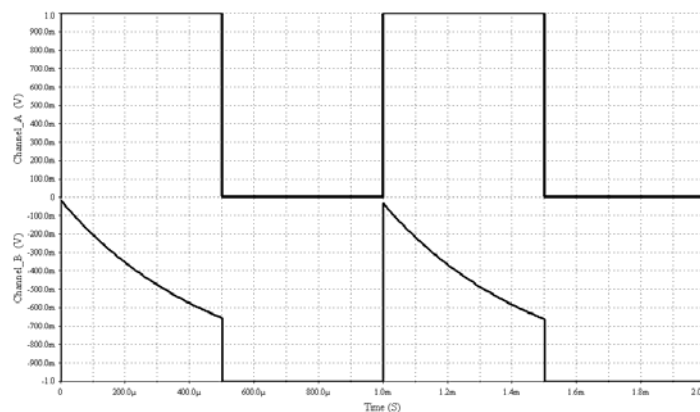


Рисунок 10 Последовательность прямоугольных импульсов на входе системы (канал А), задающее экспофункциональное напряжение на входе фильтра с потерями (канал В, смещен вниз на 1 В)

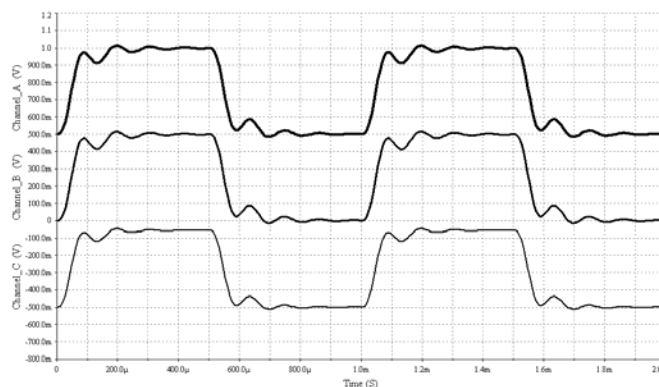


Рисунок 11 Напряжение на выходе системы (канал А, смещен вверх на 0,5 В), отклик ФНЧ без потерь (канал В), отклик ФНЧ с потерями (канал С, смещен вниз на 0,5 В)

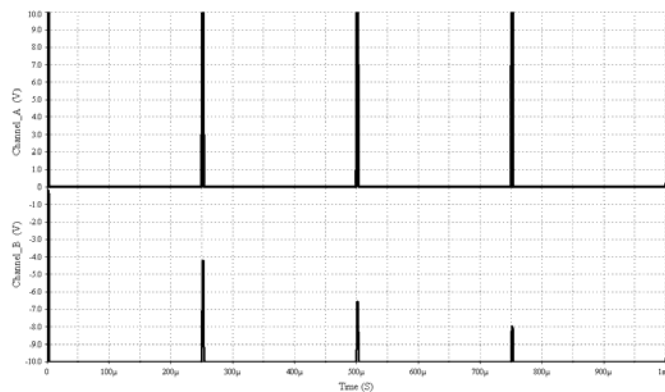


Рисунок 12 Последовательность импульсов на входе системы (канал А), задающее напряжение на входе фильтра с потерями (канал В, смещен вниз на 10В)

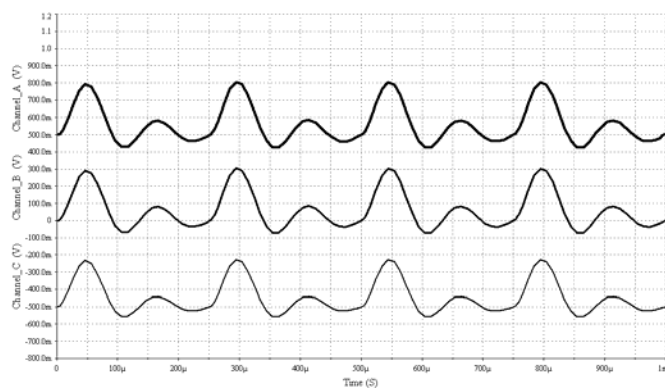


Рисунок 13 Напряжение на выходе системы (канал А, смещен вверх на 0,5 В), отклик ФНЧ без потерь (канал В), отклик ФНЧ с потерями (канал С, смещен вниз на 0,5 В)

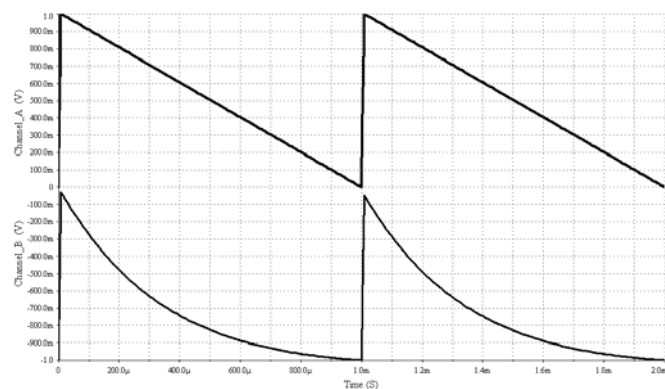


Рисунок 14 Последовательность пилообразных импульсов на входе системы (канал А), задающее напряжение на входе фильтра с потерями (канал В, смещен вниз на 1 В)

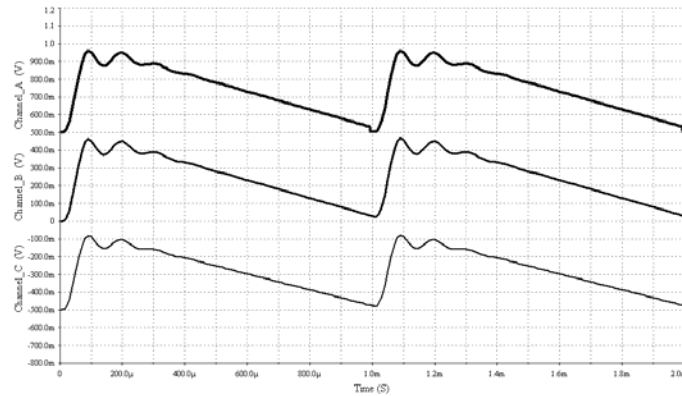


Рисунок 15 Напряжение на выходе системы (канал А, смещен вверх на 0,5 В), отклик ФНЧ без потерь (канал В), отклик ФНЧ с потерями (канал С, смещен вниз на 0,5 В)

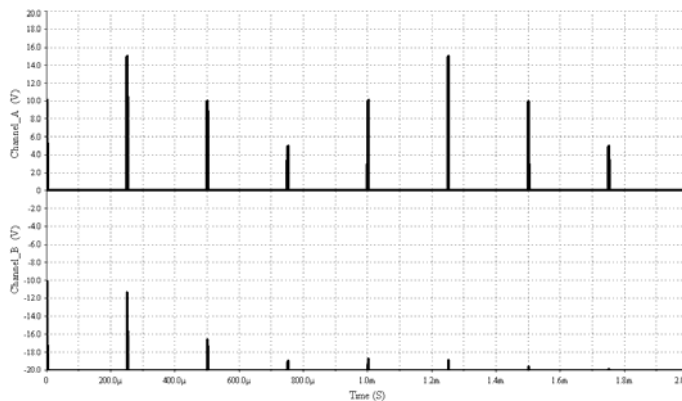


Рисунок 16 Последовательность модулированных по гармоническому закону ($U_m = 0,5$ В; $f = 1$ кГц) коротких импульсов на входе системы (канал А), задающее экспофункциональное напряжение на входе фильтра с потерями (канал В, смещен вниз на 20 В)

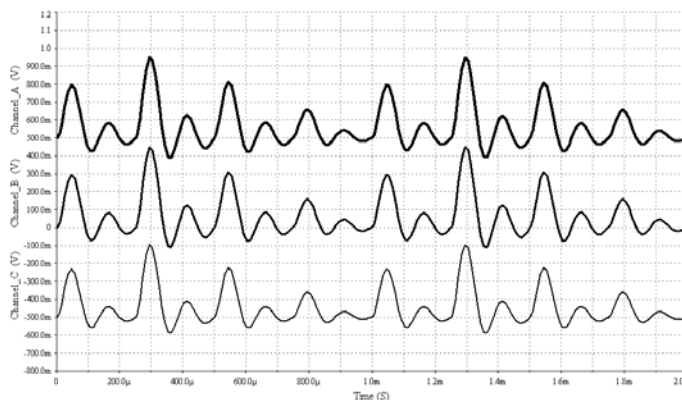


Рисунок 17 Напряжение на выходе системы (канал А, смещен вверх на 0,5 В), отклик ФНЧ без потерь (канал В), отклик ФНЧ с потерями (канал С, смещен вниз на 0,5 В)

Отклики системы, содержащей ФНЧ Чебышева 3-го порядка с потерями при периодическом экспофункциональном воздействии, на последовательность прямоугольных импульсов и последовательность коротких импульсов, также получены с помощью макета, созданного в соответствии с [3]. Отличие результатов, полученных с помощью среды моделирования Multisim, от результатов, полученных с помощью собранного макета, составило 0,2 %. Удовлетворительное совпадение результатов, дало возможность проводить

исследования откликов других фильтров, в среде моделирования Multisim. При сравнении графиков откликов канала А и канала В, представленных на рис. 11, 13, 15 и 17 видно, что графики откликов систем, содержащих LC-фильтры с потерями при периодических экспофункциональных воздействиях, практически совпадают с графиками откликов соответствующих LC-фильтров без потерь. Аналогичные результаты получены при исследовании, с помощью среды моделирования Multisim откликов систем, содержащих ПФ Баттерворта 8-го порядка с потерями, а также ФНЧ Кауэра-Золотарева 6-го порядка с потерями.

Проанализируем полученные результаты. Из сравнения графиков переходных характеристик и откликов систем, содержащих LC-фильтры с потерями при экспофункциональном воздействии, с графиками переходных характеристик и откликов LC-фильтров без потерь следует, что переходные характеристики и отклики систем, содержащих различные LC-фильтры с потерями при экспофункциональном воздействии, приближаются к переходным характеристикам и откликам соответствующим им LC-фильтров без потерь. При этом, практически полностью совпадают формы откликов, мгновенные значения откликов и расположение их экстремумов. Это стало возможным вследствие увеличения добротностей катушек индуктивности и конденсаторов, т.е. благодаря компенсации потерь в реактивных элементах фильтров. Из этого следует, что существует возможность использования LC-фильтров с низкими добротностями при экспофункциональных воздействиях.

Таким образом, в данной работе проведено исследование переходных характеристик систем, содержащих различные LC-фильтры с потерями при экспофункциональном единичном скачке напряжения. Исследованы отклики систем, содержащих LC-фильтры с потерями при экспофункциональном воздействии, на различные периодические сигналы. Проведенные исследования во временной области, подтвердили факт компенсации потерь в LC-фильтрах при использовании экспофункциональных сигналов. Данное явление может быть использовано для улучшения избирательности катушечно-конденсаторных фильтров.

Литература

1. 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.
2. *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.
3. *Іваницький А.М., Паску Д.Г.* Устрійство 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.
4. *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.