

2014

Міністерство освіти і науки України
Українська технологічна академія
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
Редакція міжнародного науково-технічного журналу "ВОТТП"
Хмельницький національний університет
Редакція наукового журналу "Вісник ХНУ"
Вінницький національний технічний університет
Севастопольський національний технічний університет
Мордовський державний університет ім. Огарьова (Саранськ, Росія)
Видавництво "Техносфера"
Науково-технічний журнал "Фотоніка"
Томська група відділення Інституту інженерів
з електротехніки і радіоелектроніки ІБЕЕ



**ВИМІРЮВАЛЬНА
ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ
(ВОТТП- 13-2014)**

Матеріали XIII міжнародної
науково-технічної конференції

6–12 червня 2014 р.,
Одеса

Міністерство освіти і науки України
Українська технологічна академія
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
Редакція міжнародного науково-технічного журналу "ВОТТП"
Хмельницький національний університет
Редакція наукового журналу "Вісник ХНУ"
Вінницький національний технічний університет
Севастопольський національний технічний університет
Мордовський державний університет ім. Огарьова (Саранськ, Росія)
Видавництво "Техносфера"
Науково-технічний журнал "Фотоніка"
Томська група відділення Інституту інженерів
з електротехніки і радіоелектроніки ІЕЕЕ



**ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ
(ВОТТП-13-2014)**

Матеріали
XIII міжнародної науково-технічної конференції

6-12 червня 2014 р., м. Одеса (Затока)

Одеса 2014

УДК 681.2+004
ББК 32.97
В47

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету,
протокол № 10 від 29 травня 2014 р.*

У збірнику надруковані доповіді та матеріали, які були представлені та заслухані на XIII міжнародній науково-практичній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", яка відбулася у м. Одеса, 6–12 червня 2014 р.

Доповіді та окремі статті подані в авторській редакції зі збереження стилю викладу та якості підготовки вихідних матеріалів.

Редакційна колегія:

Афонін Л.Л. (Україна, Севастополь); Гімплевич Ю.Б. (Україна, Севастополь); Водотовка В.І. (Україна, Київ);
Воробієнко П.П. (Україна, Одеса); Дудикевич В.Б. (Україна, Львів); Желкобаев Ж.Е. (Росія, Москва);
Злепко С.М. (Україна, Вінниця); Істоміна Н.Л. (Росія, Москва); Камбург В.Г. (Росія, Пенза);
Каплун В.Г. (Україна, Хмельницький); Каптур В.А. (Україна, Одеса); Кичак В.М. (Україна, Вінниця);
Кравченко С.А. (Росія, Санкт-Петербург); Климчук В.В. (Україна, Хмельницький); Кожемяк О.А. (Росія, Томськ);
Кожемяко В.П. (Україна, Вінниця); Кондратов В.Т. (Україна, Київ); Косенков В.Д. (Україна, Хмельницький);
Кузьмін І.В. (Україна, Вінниця); Лепіх Я.І. (Україна, Одеса); Мельник А.О. (Україна, Львів);
Павленко Ю.Ф. (Україна, Харків); Павлов С.В. (Україна, Вінниця); Петренко О.М. (Англія, Лондон);
Проценко М.Б. (Україна, Одеса); Пугаченко О.П. (Україна, Одеса); Ройzman В.П. (Україна, Хмельницький);
Романюк О.Н. (Україна, Вінниця); Ротштейн О.П. (Ізраїль, Єрусалим); Тарасенко В.П. (Україна, Київ);
Тропишина І.В. (Україна, Одеса), відп. за випуск; Сурду М.М. (Україна, Київ); Супрунук П.М. (Україна, Львів);
Стахов О.П. (Канада); Стенцель Й.І. (Україна, Северодонецьк); Стукач О.В. (Росія, Томськ);
Філіпюк М.А. (Україна, Вінниця); Шарпан О.Б. (Україна, Київ)

В47 **Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах :**
матеріали XII міжнар. наук.-техн. конференції (6–12 червня 2014 р., м. Одеса) ;
Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова. – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2014. –
244 с. (укр., рус., англ.).
ISBN 978-966-330-203-4

Розглянуті проблеми та аспекти використання вимірювальної та обчислювальної
техніки в різних галузях економіки та технологічних процесах.

Розраховано на наукових та інженерних працівників, які спеціалізуються в об-
ласті вивчення цих задач.

УДК 681.2+004
ББК 32.97

ISBN 978-966-330-203-4

© Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2014
© Вісник Хмельницького національного університету, 2014
© Хмельницький національний університет, Україна, 2014
© Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Україна, 2014

Зміст

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

О.М. ВАСИЛЕВСЬКИЙ МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТАЮЧИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ	16
О.В. ГОФАЙЗЕН РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЕ КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ В СКВОЗНОМ ВИДЕОТРАКТЕ ИНФКОММУНИКАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ "ОТ СВЕТА ДО СВЕТА"	17
О.О. ДРЮЧИН, А.В. КОВАЛЕНКО МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ НЕСТАБІЛЬНОСТЕЙ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ	23
В.Т. КОНДРАТОВ ПРОБЛЕМЫ, РЕШАЕМЫЕ МЕТОДАМИ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	26
С.А. КРАВЧЕНКО, В.П. ПИЩАТРО, А.Н. ПРОНИН ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕДИНИЦ СИ (SI) И ТОЧНОСТИ ЗНАЧЕНИЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ КОНСТАНТ КИЛОГРАММА И АМПЕРА	31
С.А. КРАВЧЕНКО, И.В. ТРОЦЬКИН ФАЗОСМЕШАЮЩАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ РАЗНЫХ ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ И АМПЛИТУД СИГНАЛОВ	33
В.И. СОЛОДКАЯ, Е.В. ОШАРОВСКАЯ, Н.А. ПАТЛАЕНКО ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ 3D ТВ-ОБЪЕКТОВ	37
А.П. СТАХОВ НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРОВ И МИКРОПРОЦЕССОРОВ ФИБОНАЧЧИ	39
IVAN TROTSYSHYN QUANTUM THEORY OF MEASUREMENT CONVERSIONS AND THE WAY EXCEPTS METHODOLOGICAL ERRORS OF MEASURING CHANGES	42
Ю.М. ТУЗ, С.А. ШУРПАЧ, О.В. КОЗИР ЕТАЛОННИ ТЕПЛОВІ ВИПРОМІНЮВАЧІ	45

ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

V.N. SHAPAR, A.V. SAVCHUK OPTOELECTRONIC CONDENSATION HYGROMETER	47
Д. АБДАХАМИД СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С МОДЕЛЬЮ МНОГОПОЛОЧНЫМ РЕКТОРОМ СИНТЕЗА МЕТАНОЛА ..	48
М.В. АРМАНОВА, С.А. ДАРЗНЕК, Ж. ЖЕЛКОБАЕВ МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЯ СИГНАЛА ФОТОПРИЕМНИКА ДЛЯ РАСЧЕТА СМЕЩЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ЗЕРКАЛА ЛАЗЕРНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОМ ИЗМЕРИТЕЛЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ..	51
С.В. БЕХ, ХАДИФА ВАЛИД КАМАЛ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ	54
Й.Й. БЛИНСЬКИЙ, Б.П. КНИШ МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ НА ОСНОВІ ТЕРМОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ	57
М.П. ВАСИЛЕПКО ШУМОВИЙ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ТЕРМОМЕТР	58
Е.О. ЗАЙЦЕВ, В.І. ЛАТЕНКО, І.О. СКРИПНИК СИСТЕМА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЛАТИНОВИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	61
С.Н. КНИШКО, А.А. ЯРЕМЕНКО, М.Б. ПРОЦЕНКО АНАЛИЗ РАССТОЯНИЯ РАДИОГORIZОНТА С УЧЕТОМ НЕРОВНОСТИ МЕСТНОСТИ	62
I.S. KISLY, V.B. BYSHCHUK, R.T. BODNAR, Ю.М. КУЧІРКА ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НА МЕЖАХ РОЗДІЛУ ФАЗ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ	63
Я.І. ЛЕПІХ, В.І. САНТОНІЙ, В.В. ЯНКО, Л.М. БУДІЯНСЬКА, І.О. ІВАНЧЕНКО ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ	65
О.А. ПАВЛЮК, Й.Й. БЛИНСЬКИЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВОДИ ЗА СПЕКТРОМ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ГАЗОРОЗРІДНІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ	66
В.В. ПИЛЯВСКИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ТАБЛИЦЫ	67
В.О. ХАНДОЖКО, А.П. САМЦЯ ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕФЕКТУ ЗВЕСМАН В ЯДЕРНОМУ КВАДРУПІЛЬНОМУ РЕЗОНАНСІ	69

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА РАДІОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

K.L. PORIASHCHENKO, O.I. MAYDANETS SPECTRAL COMPONENTS DEFINITION OF THE SIGNAL WITH HARMONIC SIGNAL NONINTEGER PERIOD COMPONENTS	71
Д.М. АХОНЧЕНКО, О.В. АЛЕКСАНДРИН ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОБ'ЄМНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	73

С. В. КОСТИШИН, Р. С. БЕЛЗЕЦКИЙ, М. В. МОСКОВКО, К. С. ПОСТЕМСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗЫ ДАННЫХ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ НАВЫКОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ОРУЖИЯ	130
П. І. КУЛАКОВ, Т. В. ГНЕСЬ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ МОЛОКА ДЛЯ ПЕРЕНОСНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ СТІЙЛОЇ УСТАНОВКИ	131
С.В. ПАВЛОВ, О.С. КАМПСЬКИЙ, В.В. ХОЛИН, РОВІРА РОНАЛЬД ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОДИНАМІЧНОЇ ТЕРАПІЇ У ЛІКУВАННІ ОНКОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ	133
Я. В. САВЕНКО, Є. А. НЕЛІН, Ф. М. РЕПА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЗОНДУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ МІКРООБ'ЄКТІВ	135
Р.А. ТКАЧУК, В.І. КУЗЬ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ІМПУЛЬСНОГО ОПРОМІНЕННЯ ШКІРНИХ ПАТОЛОГІЙ ІЗ КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ	137

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ

Е. V. OSNAROVSKAYA 3D MESH COMPRESSION TOOLS	139
И. Л. ДФОНИН, А. А. ЖМУР, И. С. МАЛЫШЕВ ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	140
С.И. БЕЛОУСОВ, М.Б. ПРОЦЕНКО АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАДИОУПРАВЛЯЕМОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦОВЕЩЕНИЯ	142
С.І. БІЛОУСОВ, О.В. ШВЕЦЬ АЛГОРИТМ РОБОТИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РАДІОТРАНЛЯЦІЙНИМИ ВУЗЛАМИ	143
В.В. БРАТОВСЬКИЙ, І.В. ПІСЛАР, О.В. ТІША БЕЗКОТАКТНИЙ ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ	145
Ю.М. ВОЛОВИК, А.Ю. ВОЛОВИК, М.А. ШУТИЛО О.П. ЧЕРВАК АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕСТАБІЛЬНОСТІ КОЕФІЦІЕНТІВ ПІДСИЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНИХ R-ФІЛЬТРІВ	147
В.В. ГОРИН ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПЛЕНОЧНОЙ ОНДЕНСАЦИИ ВНУТРИ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВНУТРЕННИХ ВСТАВОК	149
С.Л. ГОРШЕНКО, Є.О. ГОЛІНКА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА	152
Т.С. ДОБРОВОЛЬСКАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЖИГАНИЯ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА	153
О.О. ЛАЗАРЕВ, С.І. ЮРЧЕНКО, Т.П. ГОРЧИЦЯ ДВОПАРАМЕТРИЧНИЙ НЕГАСЕНСОР НА С-НЕГАТРОНІ	155
А.А. МАЛЬГОТА, В.А. ПРОХОРОВ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С ПОВЫШЕННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПЕРСОНАЛУ	156
С.Ф. РОБОТЬКО МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ	158
В.П. РОЙЗМАН, О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, Л.О. КОВТУН ЗНАХОДЖЕННЯ ФОРМ КОЛИВАННЯ ПЛАТ РЕА МЕТОДОМ ХЛАДНІ	161
В.Д. РУДИК, Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ ВИБІР ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ШТУЧНОЇ РЕВЕРБЕРАЦІЇ	162
А.П. РУСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА НАГРУЗКИ МЕЖДУ СИЛОВЫМИ КАНАЛАМИ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	164
Т.О. САВЧУК, Н.В. ПРИЙМАК ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ПОШУКУ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ ПРИ ФОРМУВАННІ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	166
Н.Н. СУЛИМА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	167
А.А. ТАРАНЧУК, Р.П. ХОПТИНСЬКИЙ, М.С. ПЕНАШЕВ АНТИКОЛІЗІЙНА ПРОЦЕДУРА КОДУВАННЯ ДАНИХ ДАТЧИКІВ СИСТЕМ RFID	169
А.В. ЯКИМЕНКО, А.Г. ЛАКТИУХИНА, Е.В. КАФТАН, М.Б. ПРОЦЕНКО ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ СЕГМЕНТОВ НА РЕШЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ	170

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

А.В. БАЛАБАН ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ ADSL, ADSL2 ТА ADSL2+	172
М.Ю. ВАЛУТА КОНСТРУИРОВАНИЕ НОВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ БЛОЧНЫХ КОДОВ	174
В.Б. БАЛЯР, О.В. ГОФАЙЗЕН ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМЫ НА РЧ-ИСКАЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТВ-ВЕЩАНИЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ (DVB-T2)	175
В.С. БЕЛОВ, А.С. БЕЛОВ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ ФАЗОВОГО СУЗІР'Я ПРИ QAM	176
В.С. БЕЛОВ, Л.І. ВЕРШИНІН, С.П. КОНОНОВ ЛОКАЛЬНА МЕРЕЖА ЧМ-МОВЛЕННЯ	177

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕСТАБІЛЬНОСТІ КОЕФІЦІЕНТІВ ПІДСИЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛОВАЧІВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНИХ R-ФІЛЬТРІВ

Вінницький національний технічний університет, iury.volovik@yandex.ru

Анотація. Аналізується вплив нестабільності коефіцієнтів підсилення операційних підсилювачів на характеристики активного R-фільтра другого порядку. Наведені рекомендації щодо вибору оптимальних значень цих коефіцієнтів.

Ключові слова: Операційний підсилювач, активний R-фільтр, добротність активного фільтра.

J.N. VOLOVIK, A.J. VOLOVIK, N.A. SCHUTILO, O.P. CHERVAK

THE ANALYSIS OF AGENCY OF INSTABILITY OF COEFFICIENTS OF AMPLIFICATION OF OPERATIONAL AMPLIFIERS ON CHARACTERISTICS OF ACTIVE R-FILTERS

Vinnitsa national technical university, iury.volovik@yandex.ru

The abstract. Instability agency factors a reinforcement of operational amplifiers on characteristics of a link of the second order of the active R-filter is analysed. Recommendations for choice optimum values of these factors are made.

Keywords. The operational amplifier, active R-filters, good quality of the active filter.

У роботах по теорії активних R-фільтрів [1,2] рекомендується користуватись наступними апроксимаціями частотної характеристики підсилювачів:

$$K_V = \omega_{sp} / p, \quad (1)$$

$$K_V = K_V \omega_s / (\omega_s + p), \quad (2)$$

де ω_{sp} – частота зрізу частотної характеристики, p – комплексна частота, ω_s – верхня гранична частота частотної характеристики, K_V – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача (ОП).

Знайдемо робочі характеристики R-фільтра на прикладі фільтра другого порядку при використанні апроксимації (2). Як буде показано нижче, частотні характеристики типу (1) справедливі лише при необмежено великому коефіцієнті підсилення ОП і випливають з характеристик (2) як окремий випадок. Розглянемо загальну схему R-фільтра другого порядку (див. рис.1).

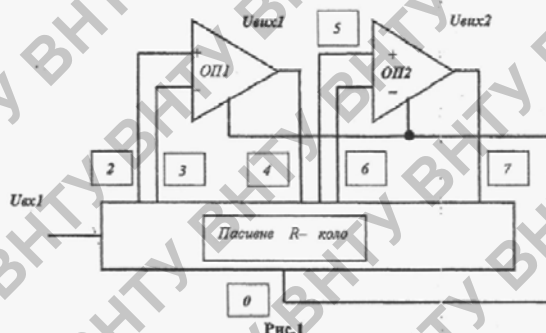


Рис.1

Для цієї схеми можливо отримати вираз для коефіцієнта передачі фільтра за виходами підсилювачів ОП1 та ОП2:

$$\frac{U_{вх2}}{U_{вх1}} = \frac{\frac{f_2}{K_{оп1}} + (f_1 F_{21} - f_2 F_{11})}{\frac{1}{K_{оп1} K_{оп2}} - F_{11} |K_{он2} - F_{22}| K_{он1} + F_{11} F_{22} - F_{12} F_{21}}; \quad (3)$$

$$\frac{U_{вх1}}{U_{вх1}} = \frac{\frac{f_1}{K_{он2}} + (f_2 F_{12} - f_1 F_{22})}{\frac{1}{K_{он1} K_{он2}} - F_{11} |K_{он2} - F_{22}| K_{он1} + F_{11} F_{22} - F_{12} F_{21}}$$

де $F_{11}, F_{12}, F_{22}, F_{21}, f_1$ – коефіцієнти передачі, які визначаються пасивною R-ланкою, а саме F_{11} – від виходу першого підсилювача до його входу, F_{12} – від виходу другого підсилювача до входу першого, F_{21} – від виходу першого до входу другого, F_{22} – від виходу другого до його входу, f_1 – від входу фільтра до входу першого підсилювача, f_2 – від входу фільтра до входу другого підсилювача. Оскільки вирази у (3) з принципової точки зору не відрізняються один від одного, то розглянемо для прикладу лише один з них, а саме – перший застосувавши апроксимацію (2):

$$K_{оп1} = K_{оп1} \omega_{e1} / (\omega_{e1} + p), K_{оп2} = K_{оп2} \omega_{e2} / (\omega_{e2} + p).$$

Підставивши її у (3), можна отримати

$$\frac{U_{вх2}}{U_{вх1}} = \frac{K_{оп1} K_{оп2} \omega_{e1} \omega_{e2} \left(\frac{pf_2}{K_{оп1} \omega_{e1}} + \frac{f_2}{K_{оп1}} + f_1 F_{21} - f_2 F_{11} \right)}{p^2 + p \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) + \omega_0^2} \quad (4)$$

$$\omega_0 = \sqrt{K_{оп1} K_{оп2} \omega_{e1} \omega_{e2} \left(F_{11} F_{22} - F_{12} F_{21} + \frac{1}{K_{оп1} K_{оп2}} - \frac{F_{11}}{K_{оп2}} - \frac{F_{22}}{K_{оп1}} \right)} \quad (5)$$

$$Q = \frac{\sqrt{F_{11} F_{22} - F_{12} F_{21} + \frac{1}{K_{оп1} K_{оп2}} - \frac{F_{11}}{K_{оп2}} - \frac{F_{22}}{K_{оп1}}}}{-F_{22} \sqrt{\frac{K_{оп1} \omega_{e1}}{K_{оп2} \omega_{e2}}} - F_{11} \sqrt{\frac{K_{оп2} \omega_{e2}}{K_{оп1} \omega_{e1}}} + \frac{(\omega_{e1} + \omega_{e2})}{\sqrt{K_{оп1} K_{оп2} \omega_{e1}}}} \quad (6)$$

де ω_0 – частота настроювання фільтра; Q – добротність фільтра.

Порівняння виразів (4)–(6) з виразами наведеними у [1,2] при використанні апроксимації (1) показує, що вони еквівалентні лише коли $K_{оп1} \rightarrow \infty$, $K_{оп2} \rightarrow \infty$. Вирази (4)–(6) справедливі при будь-яких значеннях $K_{оп1}$, $K_{оп2}$ і тому вони є більш точними. З них випливає низка висновків, які неможливо було виявити раніше. Так наприклад, з виразу (4) видно, що наявність у складі вільного члена $f_2 / K_{оп1}$ унеможливає регулювання фільтра при $F_{11} = f_1 = 0$, а у разі зменшення коефіцієнтів підсилення частота настроювання фільтра ω_0 зростає.

Окрім того, наявність складової $(\omega_{e1} + \omega_{e2}) / \sqrt{K_{оп1} K_{оп2} \omega_{e1}}$ у виразі (6) накладає обмеження на величину максимальної добротності фільтра.

$$Q_{max} = \lim_{\substack{F_{11} \rightarrow 0 \\ F_{22} \rightarrow 0}} Q = \frac{\sqrt{K_{оп1} K_{оп2} \omega_{e1} \omega_{e2}}}{\omega_{e1} + \omega_{e2}} \sqrt{-F_{12} F_{21} + \frac{1}{K_{оп1} K_{оп2}}} \quad (7)$$

При $K_{оп1} \gg 1$, $K_{оп2} \gg 1$ добротність досягає максимальної величини, проте цей максимум обмежується середньгеометричним значенням з коефіцієнтів підсилення операційних підсилювачів та співвідношеннями між верхніми граничними частотами і становить:

$$Q_{max} = \frac{\sqrt{K_{оп1} K_{оп2} \omega_{e1} \omega_{e2}}}{\omega_{e1} + \omega_{e2}} \quad (8)$$

Максимально можлива добротність фільтра буде лише рівності коефіцієнтів підсилення операційних підсилювачів $K_{оп1} = K_{оп2} = K_{оп}$, та верхніх граничних частот $\omega_{e1} = \omega_{e2} = \omega_e$.

$$Q_{max,max} = K_{оп} / 2.$$

Висновки

1. Проведений аналіз показав, що коефіцієнти підсилення операційних підсилювачів слід вибирати понайменше у два рази більшими ніж бажана добротність активного фільтра.
2. Зі збільшенням коефіцієнтів підсилення операційних підсилювачів добротність активного фільтра все більше і більше визначається параметрами пасивного R-кола, причому чутливість цього кола до нестабільності коефіцієнтів підсилення послаблюється.

Література

1. Schaumann R. On the design of active filters using only resistors and voltage amplifiers. // AEU.–1998.– Bd.40. Melt 6.
2. Soderstrand M.A. Design of active R-filters using only resistors and operational amplifiers. // Ont. J. Electronics.– 1997.– Vol. 40, №5. P. 89–92.

Scientific Edition

**MEASURING AND CALCULATING EQUIPMENT
IN TECHNOLOGICAL PROCESS**

XIII International Scientifically-Technical Conference

June 6–12, 2014, Odessa, Ukraine

Научное издание

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Материалы XIII Международной научно-технической конференции

6–12 июня 2014 г., г. Одесса, Украина

Наукове видання

**ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ**

Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції

6–12 червня 2014 р., м. Одеса, Україна

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск: *В. С. Яремчук*

Технічний редактор: *к.т.н., доц. К. Д. Горященко*

Художнє оформлення обкладинки: *О. С. Вапчурова*

Підписано до друку 29.05.2014

Формат 30×42/2. Папір офс. Гарн. Times New Roman
Друк різнографією. Ум. друк. арк. – 26,7. Обл.-вид. арк. – 25,4
Тираж 140. Зам. № 101/14

Віддруковано в редакційно-видавничому центрі ХНУ
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1
Свідчення про внесення в Державний реєстр,
серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.