

БАГАТОСМУГОВИЙ ЕКВАЛАЙЗЕР НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ІЗ ВВІМКНЕННЯМ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА В КОЛО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі на основі сучасного схемотехнічного рішення, проводиться проектування багатосмугового еквалайзера, що має вісім окремих смуг регулювання. Попередньо виконано аналіз сучасних досягнень в побудові еквалайзерів, як окремої ланки звуковідтворювальної апаратури. Наведено відомості про призначення та вимоги до даного пристрою, вплив параметрів його роботи на якість відтворення звукового сигналу.

Ключові слова: еквалайзер, частотна характеристика, смуга регулювання, фільтр, звуковий сигнал.

Abstract

In the work based on a modern circuit design, the design of a multi-band equalizer, which has eight separate adjustment bands, is carried out. An analysis of modern achievements in the construction of equalizers, as a separate link of sound reproduction equipment, was previously performed. Information about the purpose and requirements for this device, the influence of its operation parameters on the quality of sound signal reproduction is given.

Keywords: equalizer, frequency characteristic, control band, filter, audio signal.

Вступ

На сучасному етапі розвитку техніки обробки та відтворення звуку спостерігається значне підвищення інтересу як споживачів, так і розробників до багатосмугових регуляторів тембру – еквалайзерів [1].

Сучасна аудіоапаратура й акустичні системи повною мірою забезпечують високоякісне відтворення звуку лише в спеціально обладнаному приміщенні, призначеному для прослуховування музики. Більшість же житлових приміщень, особливо невеликих розмірів, непридатні для цієї мети. У будь-якій точці подібних приміщень має місце таке явище, як інтерференція (додавання з різними фазами) звукових хвиль, що прийшли безпосередньо від акустичних систем і відбитих від стін, стелі, підлоги, меблів. При цьому на деяких частотах виникають стоячі хвилі - пучності й провали інтенсивності звуку з нерівномірністю до 20 дБ, що викликає необхідність регулювання АЧХ аудіо системи в певних смугах частот [2].

Дослідження властивостей слуху людини виявили, що відчуття гучності залежить як від частоти, так і від інтенсивності звуку. Людина спроможна порівнювати по гучності звуки різної частоти. Це дозволяє побудувати так звані криві рівної гучності (ізофони). З них можна зробити висновок, що при зниженні рівня гучності людина погано сприймає складові звуку в області низьких і високих частот звукового діапазону, а на частотах від 2 до 6 кГц спостерігається найвища чутливість вуха до звуків. Тому саме за допомогою еквалайзера виконується корекція звуку відповідно до кривих рівної гучності [3].

Метою роботи є розробка та дослідження активного багатосмугового еквалайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкнення активного фільтра в коло зворотного зв'язку.

Результати дослідження

Основний недолік популярних активних регуляторів тембру полягає у використанні глибокого частотно-залежного від'ємного зворотного зв'язку і великих додаткових викривленнях, що вносяться ними в регульований сигнал [4]. Ось чому у високоякісній апаратурі бажано застосовувати пасивні

регулятори. Правда, і вони не позбавлені недоліків. Найбільший з них це – значне затухання сигналу, відповідне діапазону регулювання. Але так як глибина регулювання тембру в сучасній звуковідтворювальній апаратурою невелика (не більше 8-10 дБ), то в більшості випадків вводити у тракт сигналу додаткові каскади підсилення не потрібно. Але при збільшенні глибини регулювання (до 20 дБ) звичайно необхідно вводити активні підсилювальні елементи.

Для отримання діапазону регулювання тембру в усіх частотних смугах ± 15 дБ без взаємного впливу фільтрів один на одного, доцільним буде ввімкнути кожний смуговий фільтр в коло паралельного від'ємного зворотного зв'язку по напрузі операційного підсилювача [3]. На рисунку 1 зображено ввімкнення фільтрів до кола від'ємного зв'язку суматора на прикладі одного фільтра.

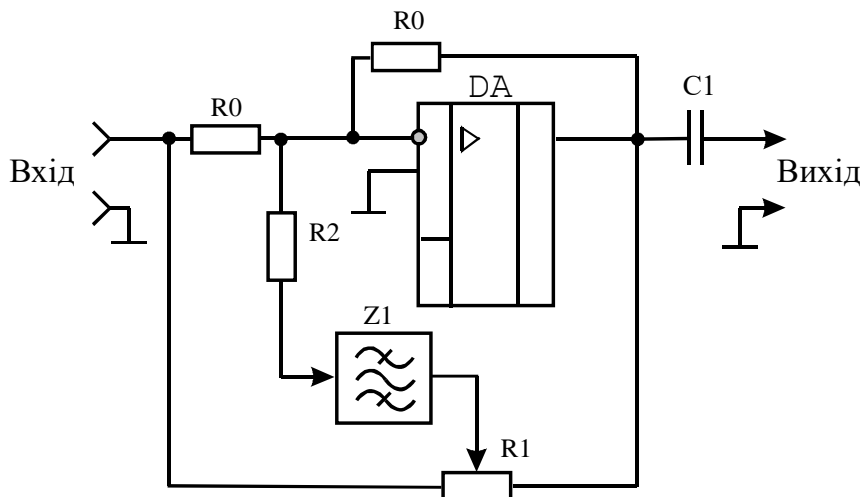


Рис. 1. Структурна схема ввімкнення активного фільтра в коло зворотного зв'язку підсумовувального каскаду

Коефіцієнт підсилення активного фільтра на резонансній частоті з умовою отримання оптимальних параметрів такої ланки, а також і самого фільтра повинен бути рівний двом [5]. При виконанні даної умови коефіцієнт підсилення схеми, зображеної на рисунку 1, на резонансній частоті дорівнює

$$K_c = \frac{(2R_0 + R_2 - 2R_0n)}{(2R_0n + R_2)}, \quad (1)$$

де K_c – коефіцієнт передачі суматора; R_0 та R_2 – значення відповідних опорів; n – коефіцієнт, який характеризує положення движка резистору R_1 (в крайньому лівому положенні $n = 0$, в крайньому правому $n = 1$) [6].

Враховуючи попередній вираз, максимальний коефіцієнт передачі суматора [4]

$$K_{c.\max} = \frac{(2R_0 + R_2)}{R_2}, \quad (2)$$

а мінімальний, відповідно

$$K_{c.\min} = \frac{R_2}{(2R_0 + R_2)}. \quad (3)$$

Необхідний коефіцієнт регулювання [4]

$$D_p = K_{c.\max} / K_{c.\min} = \left[\frac{(2R_0 + R_2)}{R_2} \right] / \left[\frac{R_2}{(2R_0 + R_2)} \right]. \quad (4)$$

Загальна структура побудови еквайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкненням активного фільтра в коло зворотного зв'язку подана на рис. 2. На рис. 3 подана схема електрична принципова еквайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкненням активного фільтра в коло зворотного зв'язку.

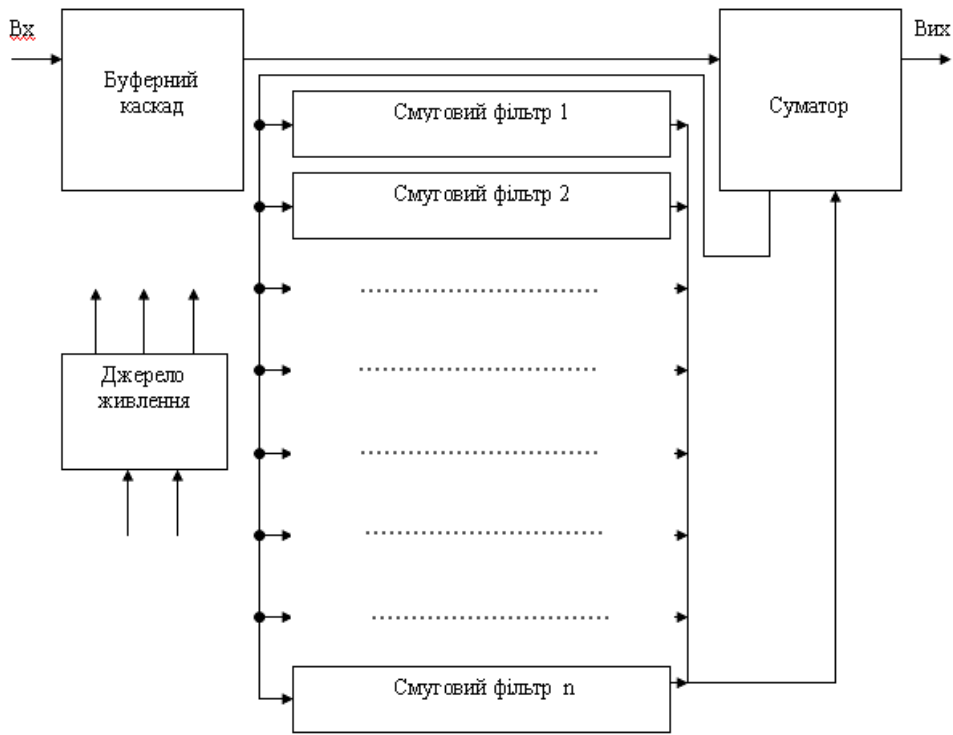


Рис. 2. Структурна схема побудови еквалайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкненням активного фільтру в коло зворотного зв'язку

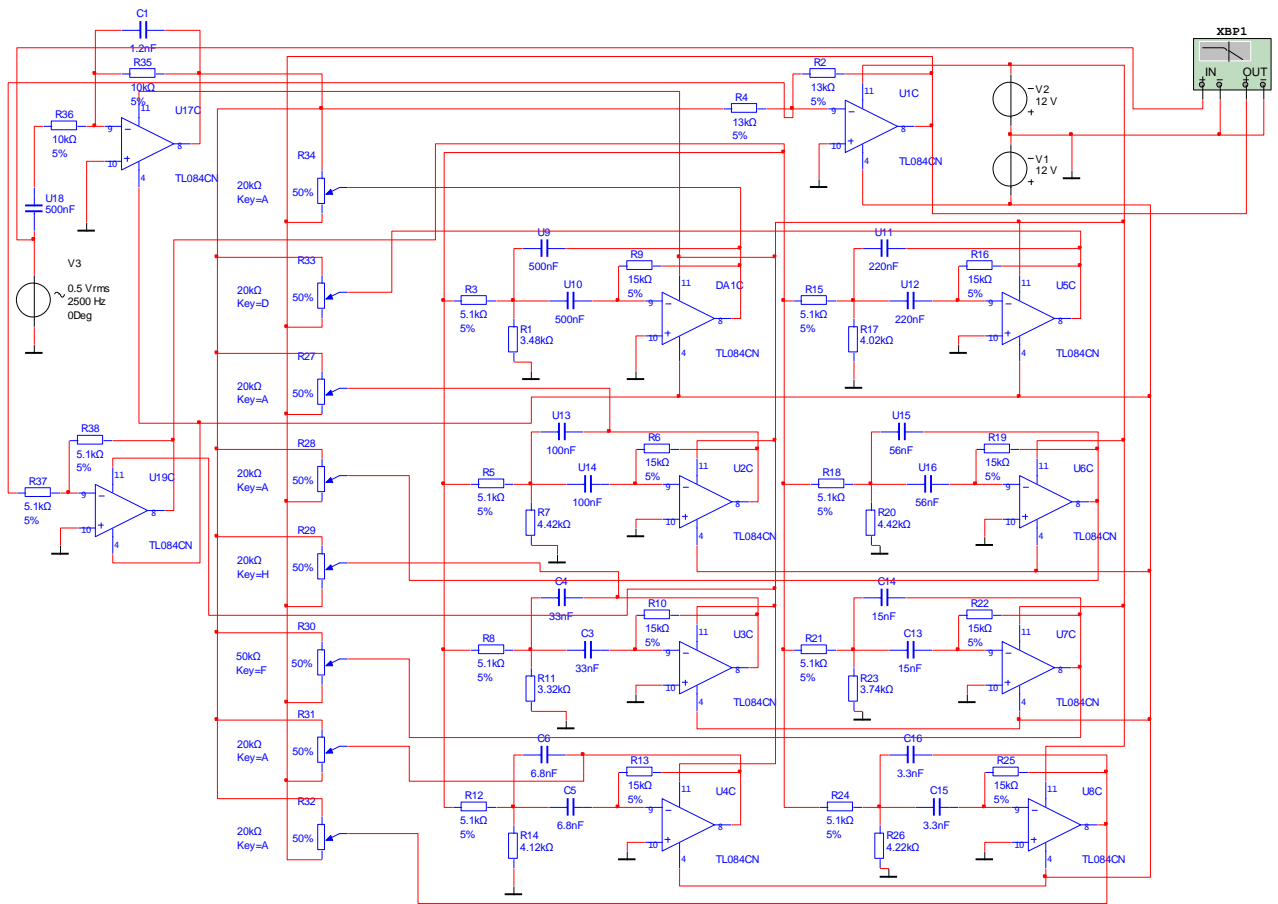


Рис. 3. Схема електрична принципова еквалайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкненням активного фільтру в коло зворотного зв'язку в програмі Multisim 10.1

Графік АЧХ усіх фільтрів еквайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкненням смугового фільтра в коло зворотного зв'язку показаний на рис. 4. А графік результуючої АЧХ еквайзера з буферним каскадом поданий на рис. 5.

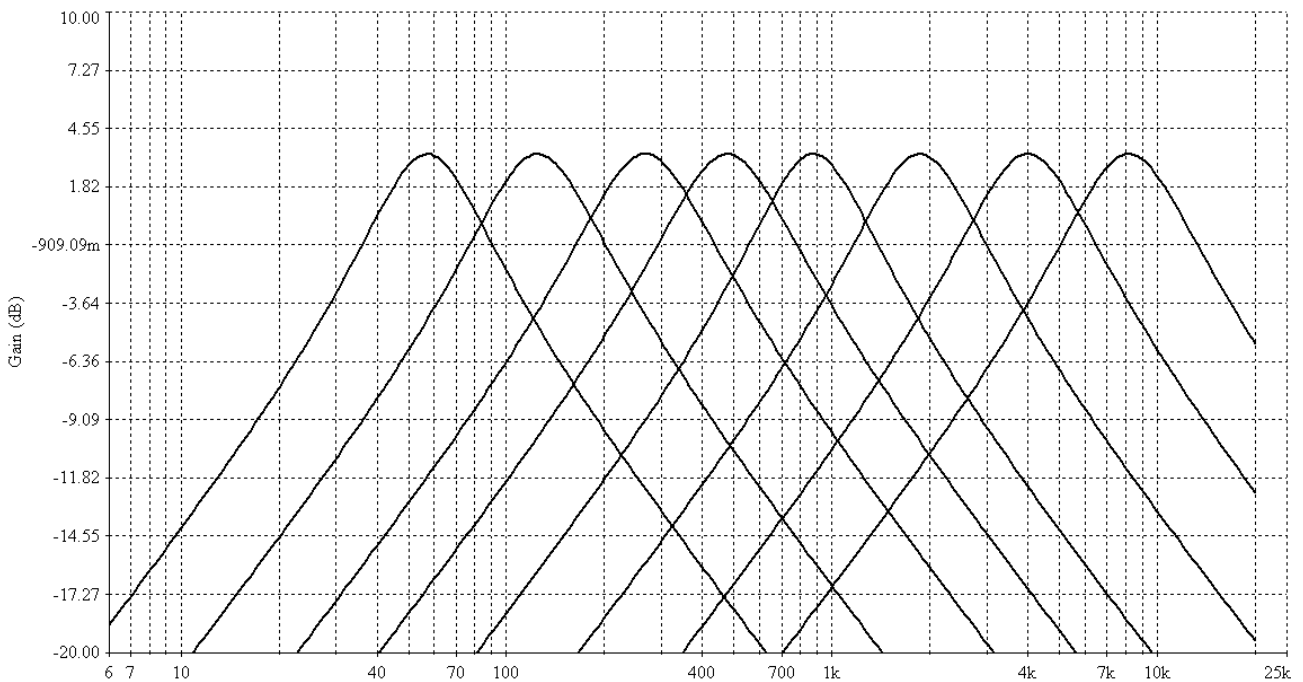


Рис. 4. Графік АЧХ усіх фільтрів еквайзера на основі операційних підсилювачів із ввімкненням смугового фільтра в коло зворотного зв'язку

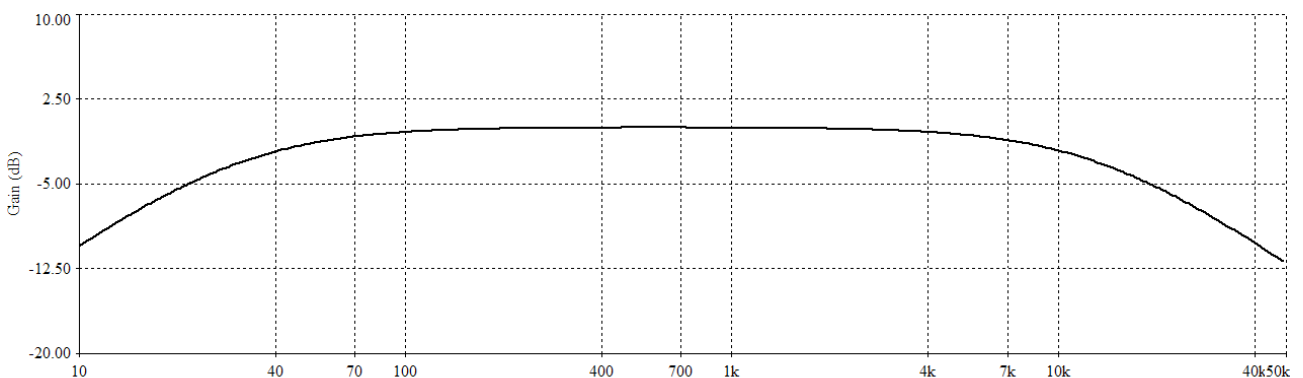


Рис. 5. Графік результуючої АЧХ еквайзера з буферним каскадом

Висновки

У роботі було проведено аналіз параметрів та характеристик багатосмугових регуляторів форми АЧХ після чого було проведено дослідження принципів побудови багатосмугових регуляторів на основі операційних підсилювачів. При дослідженні було виділено дві найбільш розповсюджених принципи регулювання, по яким було проведено аналіз та розрахунок: це еквайзер на основі диференціального підсилювача та еквайзер на основі ввімкнення активного фільтра в коло зворотного зв'язку. Порівнюючи еквайзер побудований на основі ввімкнення активного фільтра в коло зворотного зв'язку з еквайзером побудованим на основі диференціального підсилювача можна помітити, що в обох АЧХ є рівномірною, але в порівнянні з низькою добротністю фільтрів, контури основані на гіраторах мають вищу добротність, це надає перевагу в сторону еквайзера побудованого на основі диференціального підсилювача, оскільки для здобуття кращої добротності та кращої стабільності параметрів еквайзера на основі включення смугового фільтра в коло зворотного зв'язку потрібно використовувати більш складні фільтри, які можуть вмішувати два ОП та більшу кількість елементів,

а це є не економічно та призведе до збільшення габаритів. Було помічено також, що при регулюванні глибини регулювання найбільший приріст буде на крайніх положеннях регулятора, тоді як при середніх положеннях, повзунок мало впливає на глибину. Це є суттєвим недоліком еквалайзера на основі операційного підсилювача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Седов С. О. Оброблення сигналів на базі операційних підсилювачів. Схемотехніка. Розрахунки : навч. посіб. / С. О. Седов. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. — 132 с.: іл
2. Акустична техніка : навч. посіб. В 11 т. / В. С. Дідковський, О. Г. Лейко, В. Г. Савін. — Київ : Імекс-ЛТД, 2006. — Т. 4 : Основи архітектурної і фізіологічної акустики. — 424 с.
3. Акустична техніка : навч. посіб. В 11 т. / В. С. Дідковський, О. Г. Лейко, В. Г. Савін. — Київ : Імекс-ЛТД, 2006. — Т. 7: Електроакустичні перетворювачі. — 448 с.
4. Кичак В.М. Основи схемотехніки. Аналогова та інтегральна схемотехніка. Навчальний посібник із грифом МОНМС України / Кичак В.М., Рудик В.Д., Семенов А.О., Семенова О.О. – Вінниця, 2013. – 267 с. ISBN 978-966-641-513-7
5. Крушевський Ю.В. Настроювання, регулювання та обслуговування РЕА. Навчальний посібник / Крушевський Ю.В., Шутило М.А., Семенов А.О., Коваль К.О. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 160 с.
6. Рудик А.В. До визначення точності результатів вимірювань / Рудик А.В., Дрючин О.О., Семенов А.О. // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції “Наука і освіта ’2005”. Том 62. Техніка. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – С. 35-37.

Семенов Андрій Олександрович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Штефанеса Сергій Сергійович — студент групи МНТ-22м, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serhiishtefanеса@gmail.com

Кристофоров Андрій Валерійович — студент групи МНТ-22м, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrew199910kr@gmail.com

Semenov Andriy Oleksandrovych — Dr. Sc. (Eng.), Full Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Shtefanеса Serhiy Serhiyovych — student of group MNT-22m, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serhiishtefanеса@gmail.com

Krystoforov Andrii Valeriiovych — student of group MNT-22m, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrew199910kr@gmail.com