

О. В. ДЕСЯТНІЧЕНКО, інженер, НТУ «ХП»;
Г. М. СУЧКОВ, д-р тех. наук, проф., НТУ «ХП»;
К. О. РЕКАЛО, студент НТУ «ХП»

ПРИЙМАЮЧИЙ АНАЛОГОВИЙ ТРАКТ ЗІ СМУГОВОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ДЛЯ ЗАСОБУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРИЛАДУ

Розглянуті принципи побудови блоку аналогового тракту. Наведені основні етапи проектування: вибір схеми, розрахунки, моделювання, виготовлення та випробовування. Встановлена ефективність доцільності використання розробленого блоку.

Ключові слова: аналоговий тракт, операційний підсилювач, фільтр з смуговою характеристикою, розрахунок, моделювання, випробовування.

Вступ. Рівень промислового розвитку передових країн світу характеризується не тільки об'ємом виробництва та асортиментом випущеної продукції, але і показниками її якості. Тому одна з найважливіших задач у промисловості – це постійне покращення якості випущеної продукції. В теперішній час широко застосовується електромагнітно-акустична товщинометрія та дефектоскопія для контролю металовиробів [1]. Але на фоні високого попиту на пристрої неруйнівного контролю, відчувається брак таких приладів вітчизняного виробництва [2].

Основною метою цієї роботи є ознайомлення читача з основними засадами розробки приймаючого аналогового тракту для використання у задачах неруйнвної товщинометрії та дефектоскопії. Автори показали повний процес розробки такого блоку, починаючи з вибору типу схеми, розрахунку її параметрів, проведення моделювання розрахункових даних, та створення робочого макету розробленої схеми та його випробовування. Автори сподіваються, що наведений матеріал стане у пригоді молодому розробнику приладів неруйнівного контролю, або інших пристроїв, під час розробки яких постають схожі задачі.

Основна частина. У електричних, радіотехнічних і телемеханічних установках часто вирішується завдання: з сукупного сигналу, що займає широку смугу частот, виділити один або декілька складових сигналів з вузкою смугою. Сигнали заданої смуги виділяють за допомогою частотних електричних фільтрів [3].

До частотних електричних фільтрів різної апаратури пред'являються різні, іноді суперечливі вимоги. У одній області частот, яка називається смугою пропускання, сигнали не повинні ослаблятися, а в іншій, що називається смугою затримання, послаблення сигналів не має бути менше певного значення. Фільтр вважають ідеальним, якщо в смузі пропускання відсутнє послаблення

сигналів і фазочастотна характеристика лінійна (немає спотворення форми сигналів), а поза смугою пропускання сигнали на виході фільтру відсутні.

Залежно від діапазону частот, що відносяться до смуги пропускання, розрізняють низькочастотні, високочастотні, смугові, смугово-пригнічуючі, виборчі (селективні) і такі, що загороджують (режекторні) фільтри. Властивості лінійних фільтрів можуть бути описані передатною функцією, яка дорівнює відношенню зображень по Лапласу вихідного і вхідного сигналів фільтру.

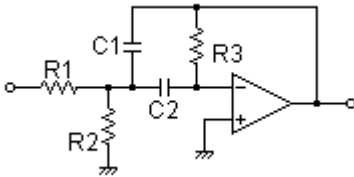


Рис. 1 – Схема смугового активного фільтра

Виходячи з того, що в задачах товщинометрії та дефектоскопії робоча частота корисного сигналу в основному лежить у діапазоні від 0.5 до 3 МГц, а завади рівномірно розподілені на частотах, як нижчі або вищі цього діапазону, виберемо для реалізації смуговий активний фільтр, який буде підсилювати тільки корисний сигнал.

Смуговий фільтр другого порядку можна реалізувати на основі схеми інвертуючого підсилювача з багаторазовим зворотним смугово-пропускаючим зв'язком, як це показано на рис.1.

Передатна функція фільтру має вигляд:

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = \frac{2\zeta(2\pi f_0)K_s}{s^2 + 2\zeta(2\pi f_0)s + (2\pi f_0)^2} \quad (1)$$

Центральна частота такого фільтру може бути обчислена з наступного виразу:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{R_3 C_1 C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad (2)$$

Добротність фільтру розраховується як:

$$Q = \frac{1}{2\zeta} \quad (3)$$

Коефіцієнт підсилення K можна обчислити як:

$$K = \frac{R_3}{R_1} \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad (4)$$

З (2) отримаємо вираз для визначення номіналу R2:

$$R_2 = \frac{R_1}{R_3 C_1 C_2 R_1 \cdot (f_0 \cdot 2\pi)^2 - 1} \quad (5)$$

Єдиний недолік схеми полягає в тому, що такі параметри, як коефіцієнт посилення на центральній частоті K_p і добротність Q не є незалежними один

від одного, що незначно ускладнює розрахунки, але в нашому випадку це не є великою проблемою, адже розрахунок буде проводитися лише один раз, для конкретної схеми.

Розрахунок параметрів схеми. В схемі фільтру з багаторазовим зворотним

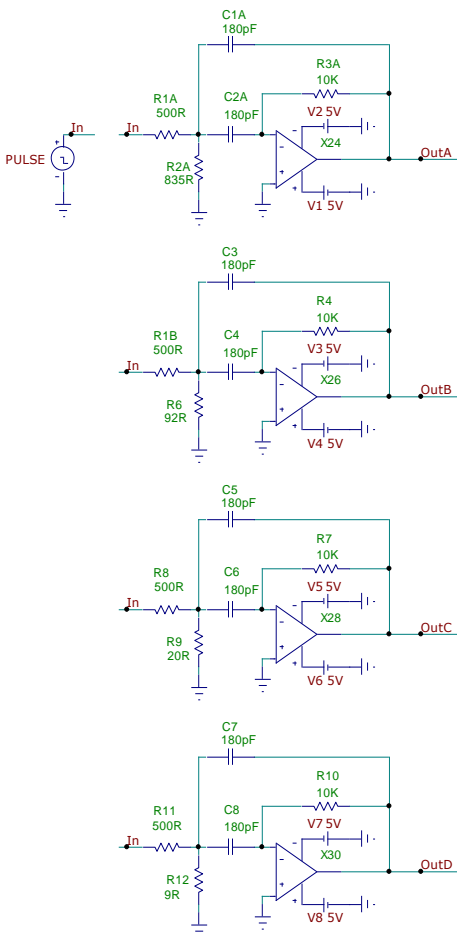


Рис. 2 – Робочі схеми для моделювання

інтерфейс і досить скромні вимоги до програмно-апаратних засобів комп'ютера, але при цьому надає великі можливості, дозволяючи аналізувати як аналогові, так і цифрові пристрої. Можливо також і змішане моделювання аналого-цифрових електронних пристроїв. Дослідні користувачі пакету можуть також в нестандартній ситуації створювати власні макромоделі, що полегшують імітаційне моделювання без втрати істотної інформації про поведінку системи. Повна сумісність з spice-моделями і spice-схемами і розвинені можливос-

ним смугово-пропускаючим зв'язком, резистор зворотного зв'язку R3 є навантаженням від операційного підсилювача, від його номіналу залежить стабільність роботи усієї схеми. Його опір потрібно обирати згідно рекомендацій виробника. Для розрахунків прийнемо $R3=10$ кОм. Резистори R1 і R2 утворюють дільник. Прийнемо $R1=500$ Ом. З виразу (4), та враховуючи необхідний коефіцієнт підсилення, розрахуємо номінал конденсаторів C1 та C2 складе 180пФ. З виразу (5) обчислимо номінал резистора R2 для частот 500 кГц, 1 МГц, 2 МГц, 3МГц:

$$F_1 = 500000 \text{ Гц}; R_2^1 = 834.8975 \text{ Ом}$$

$$F_2 = 1000000 \text{ Гц}; R_2^2 = 92.6698 \text{ Ом}$$

$$F_3 = 2000000 \text{ Гц}; R_2^3 = 20.3401 \text{ Ом}$$

$$F_4 = 3000000 \text{ Гц}; R_2^4 = 8,8402 \text{ Ом}$$

На рис. 2 показані чотири принципіальні схеми з розрахунковими номіналами, для кожної з частот відповідно.

Моделювання роботи схеми.

Для перевірки проведених розрахунків проведемо моделювання схеми, для якого використаємо пакет micro-cap [4]. Цей пакет розроблений фірмою Spectrum Software. Програма має зручний, дружній

ті конвертації дозволяє користувачеві Micro-cap успішно користуватися всіма розробками, призначеними для DESIGNLAB і ORCAD, а отримані навички моделювання дозволять у разі потреби набагато швидше освоювати складніші професійні пакети моделювання.

Робочі схеми для моделювання наведена рис.2. Моделювання роботи проводилося для частот 0.5 МГц (рис.3), 1 МГц (рис.4), 2 МГц (рис.5) та 3 МГц (рис.6).

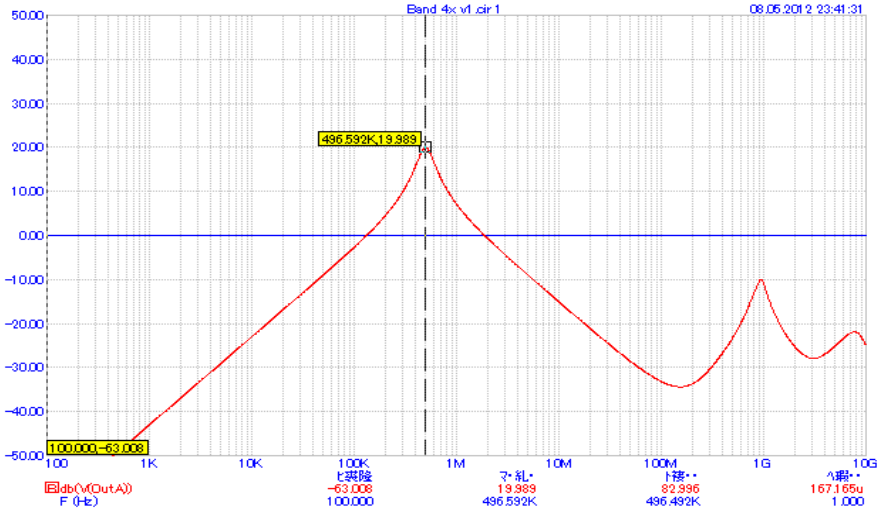


Рис. 3 - Результати моделювання фільтра на мікросхемі THS4304 налаштованого на частоту 500КГц

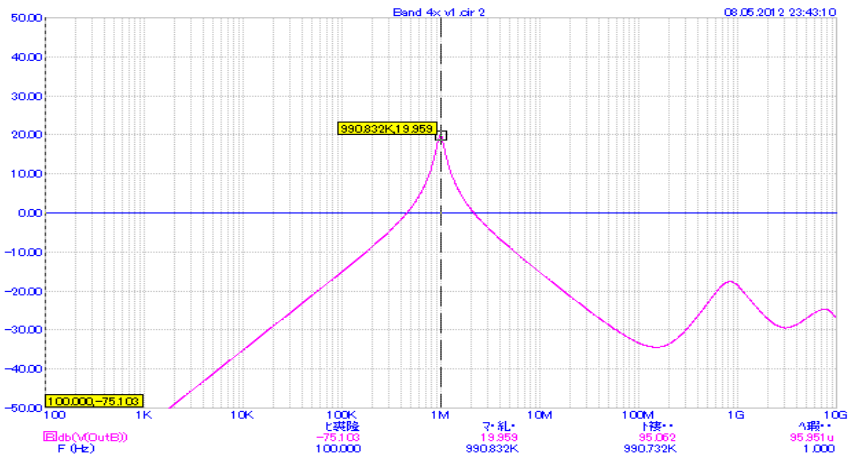


Рис. 4 – Результати моделювання фільтра на мікросхемі налаштованого на частоту 1МГц

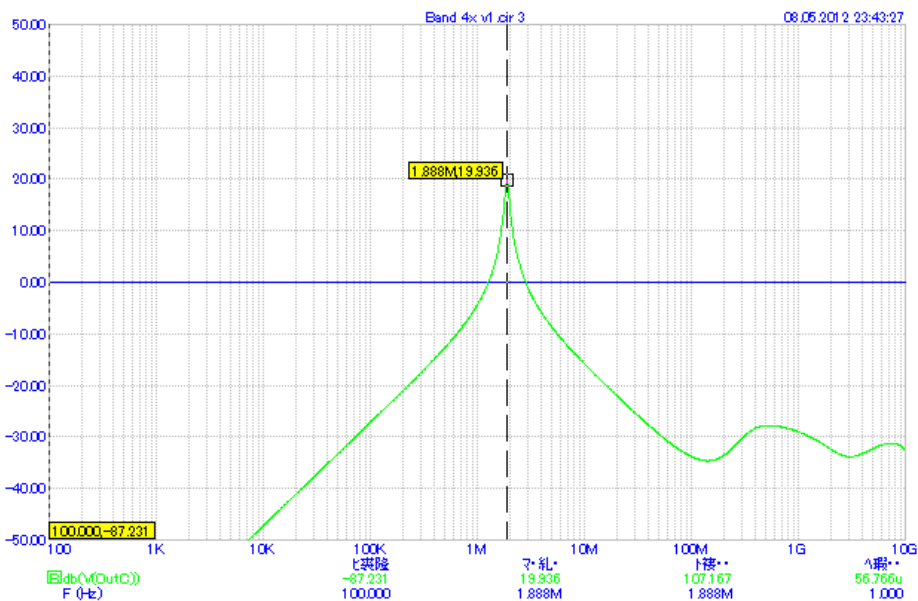


Рис. 5 – Результати моделювання фільтра на мікросхемі налаштованого на частоту 2МГц

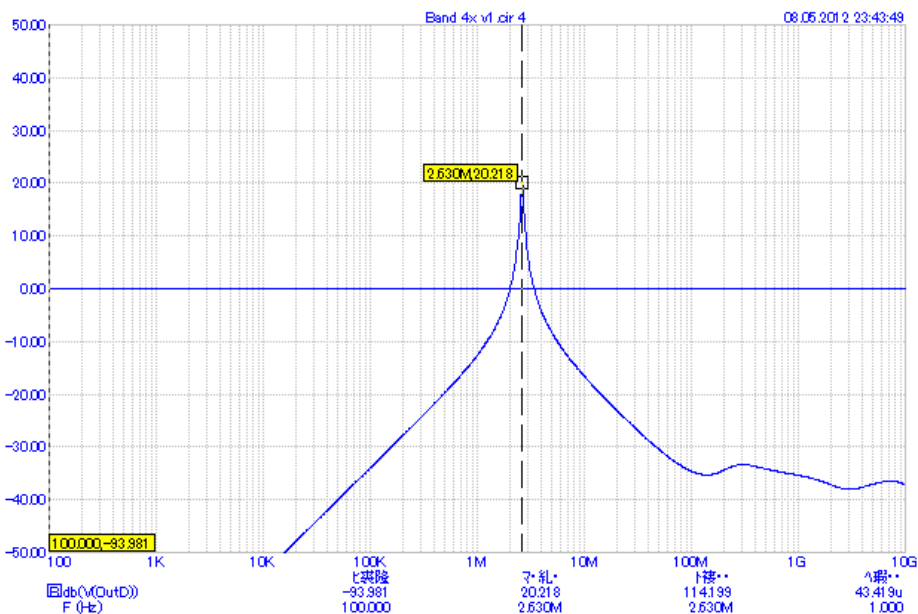


Рис. 6 – Результати моделювання фільтра на мікросхемі налаштованого на частоту 3МГц

З результатів моделювання можна зробити висновок про відповідність виконаних розрахунків заданим даним.

Визначення впливу граничної смуги операційного підсилювача на параметри схеми. Висока гранична полоса операційного підсилювача впливає на його вартість. Визначимо вплив цього параметру з метою зниження вартості шляхом використання більш дешевих аналогів.

Для порівняння використовувалися наступні мікросхеми:

- ОРА656 з граничною частотою підсилення 500 МГц;
- ТНС4061 з граничною частотою підсилення 180 МГц;
- ОРА656 з граничною частотою підсилення 70 МГц.

На рис.7 наведено порівняльний аналіз мікросхем ТНС4304 (пунктиром) та ОРА656 (чорним кольором). Як видно з рисунку робота мікросхем майже не відрізняється, а отже можна рекомендувати повну заміну для зменшення вартості пристрою.

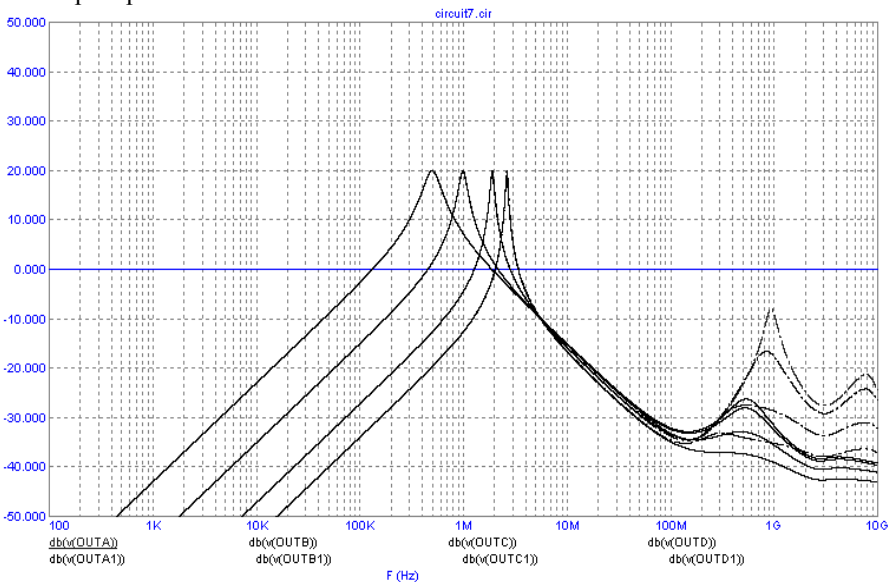


Рис. 7 - Порівняльний аналіз фільтру зі схемою на ОРА656 і ТНС4304

На рис.8 наведено порівняльний аналіз мікросхем ТНС4304 (пунктиром) та ТНС4061 (чорним кольором). Використання цієї мікросхеми дозволяє зберегти рівень коефіцієнт підсилення, але впливає на значення частоти, яке буде значно відрізнятись від розрахункового.

На рис. 9 наведено порівняльний аналіз мікросхем ТНС4304 (пунктиром) та ТНС4051 (чорним кольором). Результати подібні до порівняння з ТНС4061,

але реальне значення центральної частоти ще більше відрізняється від розрахункового. Виходячи з цих результатів можна рекомендувати останні дві мікросхеми лише у разі великих вимог до вартості приладу.

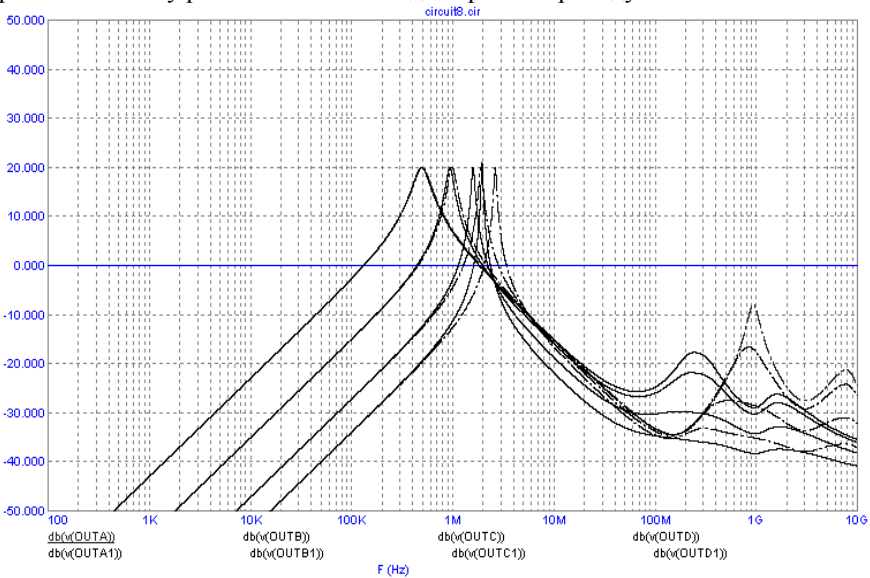


Рис. 8 - Порівняльний аналіз фільтру зі схемою на TMS4061 і TMS4304

В деяких приладах необхідні високі вимоги до коефіцієнту підсилення у кожному каскаді. Порівняємо одну і ту саму конфігурацію з різними коефіцієнтами підсилення. На рис. 10 показана АЧХ для коефіцієнтів підсилення 20 дБ (пунктиром) та 40 дБ (чорним). Як видно з рисунку зі збільшенням коефіцієнта підсилення значно зменшується діапазон перестройки фільтру, а частота зміщується в область високих частот.

Оцінювання достовірності моделювання. Як відомо, результати моделювання можуть значно відрізнятися від реальних. Щоб впевнитись в їх достовірності проведемо моделювання за допомогою іншого пакету. Для перевірки використовуємо пакет Multisim [5].

Multisim є дуже потужною програмою у сфері моделювання та розрахунку електричних (електронних) схем пристроїв на цифрових і аналогових компонентах. У ній міститься великий набір інструментарію і бібліотек елементів для роботи. Це віртуальні тестери, генератори, осцилографи, готові моделі електротехнічних деталей і т.д. Програмне забезпечення повністю сумісний з програмами CAD і PCB-дизайну. Основними особливостями даної програми, є можливість використання контрольно-вимірвальних приладів, які за своїм виглядом і внутрішнім характеристикам наближені до їх реально існуючим аналогам. Multisim 10 (electronics workbench) досить проста у вивченні і практична в роботі.

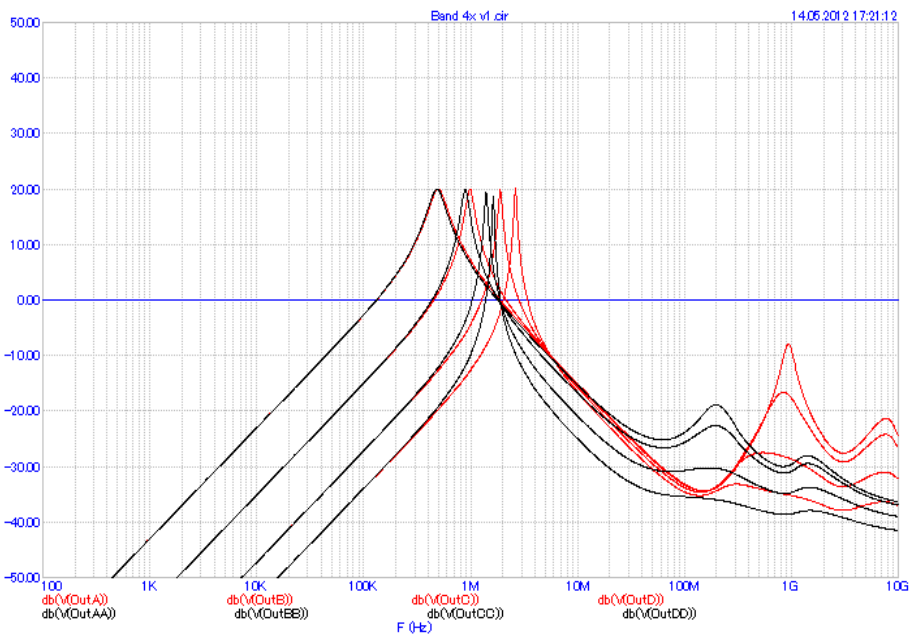


Рис. 9 - Порівняльний аналіз зі схемою на THS4051

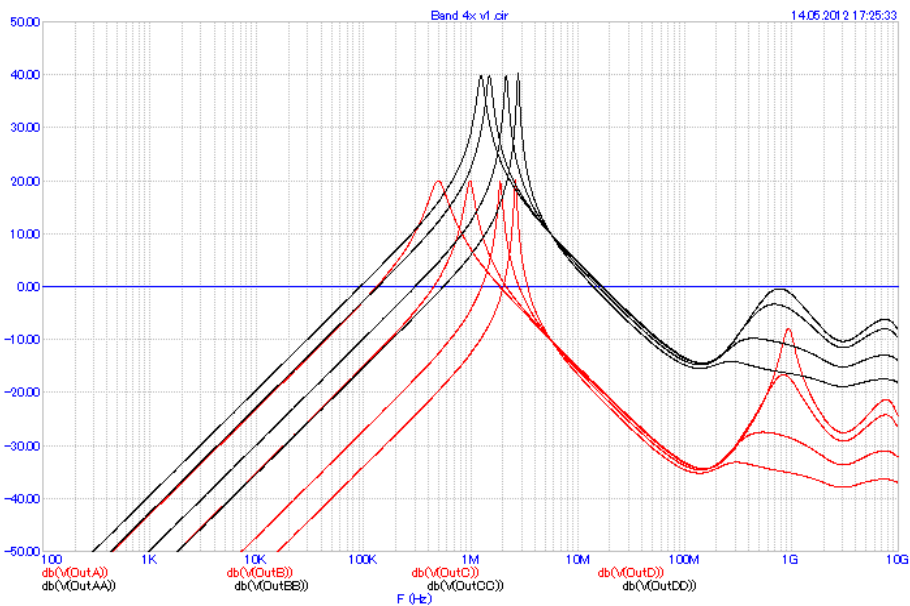


Рис. 10 - АЧХ для коефіцієнтів підсилення 20 дБ та 40 дБ

На рис.11 наведено результати моделювання.

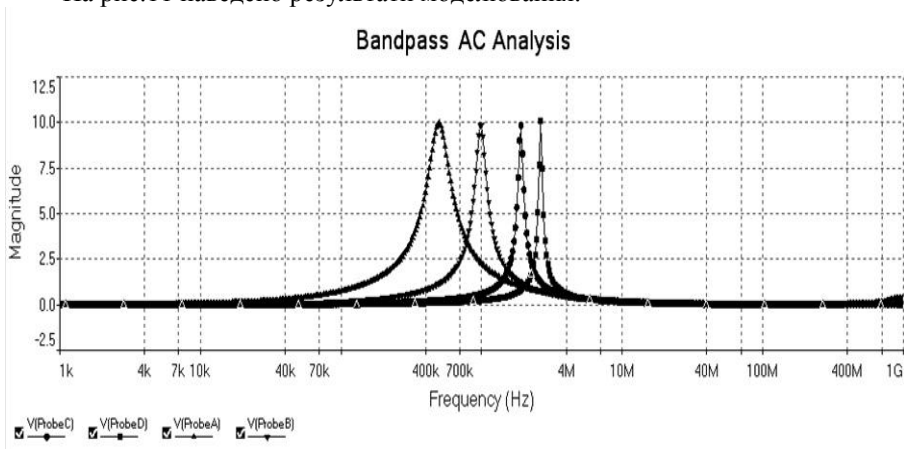


Рис. 11 - Результати моделювання

Результати моделювання збігаються з результатами отриманими завдяки пакету місто-sar, з чого можна зробити висновок про досить високу достовірність отриманих даних, що підтверджують працездатність розробляємої схеми.

Створення макету підсилювача. Для розробки топології друкованої плати буде використаний редактор друкованих плат Altium Designer [6], який містить потужні засоби інтерактивного розміщення компонентів і трасування провідників, які спільно з інтуїтивною і повністю візуалізованою системою установки правил проектування максимально спростують процес розробки. Інструменти трасування враховують всі вимоги, що пред'являються сучасними технологіями розробок, наприклад, при трасуванні диференціальних пар або високочастотних ділянок плат. До складу програми входить автоматичний трасувальщик Situs, в якому використовуються найбільш прогресивні алгоритми трасування друкованих провідників. Принциповою відмінністю останньої версії Altium Designer є підтримка двобічної роботи з механічними деталями та моделями компонентів у форматі STEP, які можуть бути імпортовані / експортовані з механічних САПР. Робота над всіма частинами проекту ведеться в єдиній керуючій оболонці Design Explorer, що дозволяє розробнику контролювати цілісність проекту на всіх етапах проектування. Таким чином, зміни, внесені на якому етапі розробки, автоматично передаються на всі пов'язані стадії проекту. На додаток, Altium Designer має широкі можливості імпорту та експорту сторонніх систем проектування і підтримує практично всі стандартні формати вихідних файлів (Gerber, ODB ++, DXF і т. д.). Повністю підтримуються всі напрацювання у вигляді схем, плат і бібліотек, розроблені в останніх версіях P-CAD. Розробленої друкованої плати та розташування елементів приведено на рис.12. Програма дозволяє створювати 3-и вимірне представлення плати, яке приведено на рис.13.

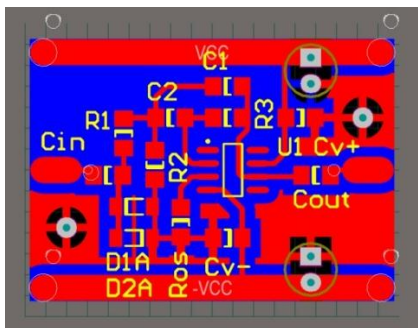


Рис. 12 – Друкована плата

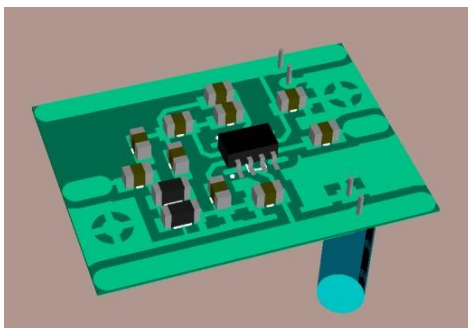


Рис. 13 – 3-и вимірна модель плати підсилювача

Плата виготовлялась на базі лабораторії кафедри ПМНК з використанням переносу зображення роздрукованого на лазерному принтері на плату. Травлення проводилося у хлорному залізі. Зовнішній вигляд зібраного підсилювача наведено на рис.14. Для зниження рівня шумів, що виникають через зовнішні завади, підсилювач було встановлено у металевий корпус (рис. 15).



Рис. 14 – Зібраний смуговий підсилювач



Рис. 15 – Смуговий активний фільтр в металевому корпусі

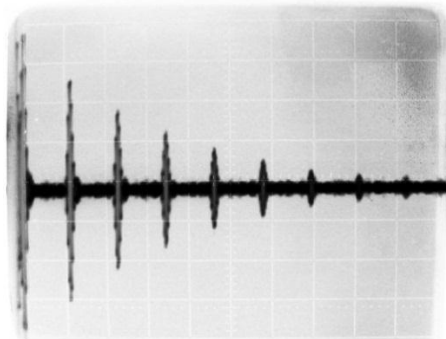


Рис. 16 – Сигнал, отриманий під час вимірювання

Випробування. Для того, щоб перевірити працездатність макету, його було під'єднано до генератору Г4-153, з якого на підсилювач подавався сигнал, та осцилографу С1-65 на якому проводився контроль вихідного сигналу. АЧХ реального підсилювача майже не відрізнялася від отриманої при моделюванні, з чого можна зробити висновок про коректність розробки макету. Для тестування підсилювача у реальних умовах, його було встановле-

но в макет електромагнітно-акустичного товщиноміру [7] і було проведено ряд вимірювань. Досліди показали, що використання нового підсилювача дозволяє підвищити співвідношення сигнал/шум у декілька разів, у порівнянні з попереднім. Сигнал, отриманий під час вимірювання показаний на рис. 16. Вимірювання проводилося на взірці товщиною 40мм, зазор між взірцем та перетворювачем становив бмм. Поверхня взірця не оброблялася, і була уражена корозією.

Висновок. Розглянуті основні рішення для побудови аналогових фільтрів, описані переваги та їх недоліки. Обрано варіант смугового фільтру для реалізації. Проведено розрахунок параметрів схеми для різних значень центральної частоти. Проведено моделювання схеми, побудовані графіки АЧХ. Проведено порівняльний аналіз у разі використання операційних підсилювачів з різною граничною смугою пропускання. Дані рекомендації використовувати підсилювач з смугою не нижче 500 МГц. Результати моделювання були перевірені на програмі від іншого виробника. Створено робочий макет схеми та перевірена його працездатність. Для макету була розроблена та виготовлена друкована плата на базі лабораторії кафедри ПМНК. Результати роботи показали доцільність використання такої схеми.

Список літератури: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / В.В. Клюев, И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с. 2. Сучков Г.М. ЕМА товщинометрия. (Огляд) / Сучков Г.М., Петрищев О.М., Десятниченко А.В. и др. // Вісник НТУ «ХП». – 2010. – Вип. 12. – С. 110–121. 3. Мошниц Г. Проектирование активных фильтров: Пер. с англ. / Мошниц Г., Хорн П. // М.: Мир, 1984 – 318с. 4. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8 / Амелина М. А., Амелин С. А. // Горячая линия-Телеком - 464с. 5. Хернитуер М.Е. Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. / Хернитуер М.Е. // ДМК. 2006 – 488 с. 6. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. / Сабунин А.Е. / Солон-пресс. 2009 - 432 с. 7. Сучков Г.М. Макет електромагнітно-акустичного товщиноміру / Г.М.Сучков, А.В. Десятниченко // Приладобудування 2010: стан і перспективи: IX міжнар. наук.-техн. конф., 27–28 квітня 2010 р.: тези доп. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – С. 211–212.

Надійшла до редколегії 16.05.2013

УДК 620.179.14

Приймаючий аналоговий тракт зі смуговою характеристикою для засобу неруйнівного контролю ультразвукового приладу / О. В. Десятниченко, Г. М. Сучков, К. О. Рекало // Вісник НТУ «ХП». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 34 (1007). – С. 163–173. – Бібліогр.: 7 назв.

Рассмотрены принципы построения блока аналогового тракта. Даны основные этапы проектирования: выбор схемы, расчеты, моделирование, изготовление и испытания. Сделаны выводы про целесообразность использования разработанного блока.

Ключевые слова: аналоговый тракт, операционный усилитель, фильтр с полосовой характеристикой, расчет, моделирование, испытания.

The principles of the construction unit of the analog section have been given. There are main stages of the design: the choice schemes, calculations, modeling, fabrication and testing. Conclusions are drawn about the usefulness of the developed unit.

Keywords: analog tract, amplifier with a band-pass filter characteristic, calculation, modeling, testing.