

На правах рукопису

Бубенцова Людмила Валентинівна

УДК 621.372.542

СИНТЕЗ ФІЛЬТРІВ З ОБМЕЖЕНИМИ СМУГАМИ
ПРОПУСКАННЯ І ЗАТРИМАННЯ

05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи і
пристрої

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1996 р.

Робота виконана в Українській державній академії зв'язку
ім. О.С. Попова.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
А.М. Іваницький

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
В.М. Ніколаєнко.
кандидат технічних наук, доцент
В.І. Денисов

Провідна організація вказана в рішенні спеціалізованої Вченої
ради Д 05.18.01 Української державної академії зв'язку ім. О.С.
Попова.

Захист дисертації відбудеться "14" червня 1996 р.
о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 05.18.01
в Українській державній академії зв'язку ім. О.С. Попова.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00754632 (R)

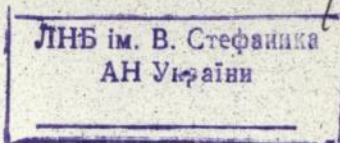
ул. Челюскінців, 1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української
державної академії зв'язку ім. О.С. Попова.

Автореферат розіслано "8" травня 1996 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої Вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

М.О. Солоп



Актуальність теми. Науковий і технічний прогрес на сучасному етапі пов'язаний з широким використанням електронної техніки, електронних обчислювальних машин (ЕОМ) і потребує неперервного вдосконалення систем зв'язку, радіо- та телевізійної техніки, у тому числі методів синтезу таких радіотехнічних пристроїв, як фільтри.

В радіотехнічних та телевізійних системах вже давно знаходять використання різноманітні типи фільтрів, як аналогових (пасивні - LC, активні RC-фільтри тощо), так і дискретних (цифрові фільтри, фільтри з конденсаторами на перемикачах).

Останнім часом значна увага приділяється проблемі апроксимації амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтра з урахуванням обмеженості його частотних смуг, що дозволяє знизити порядок передаточної функції і, таким чином, спростити схему. Іншою важливою проблемою є конструювання передаточної функції фільтра із зниженою добротністю полюсів, порівняно з класичними функціями, оскільки недоліки фільтра, до якого ставляться жорсткі вимоги щодо селективності характеристики робочого ослаблення (недостатня стабільність характеристик, невеликий динамічний діапазон, складність настроювання у випадку активних RC-фільтрів, проблема стійкості, високий рівень шуму на виході, у випадку цифрових фільтрів тощо) істотно залежить від наявності високодобротних полюсів в його передаточній функції.

Одним із шляхів удосконалення методів синтезу фільтрів є комплексне розв'язання двох вищезазначених проблем, що врешті решт дозволяє отримати передаточну функцію більш високоякісну у розумінні як порядку, так і добротності полюсів порівняно з традиційними функціями й, таким чином, приводить до схеми з кращими техніко-економічними показниками.

Останнім часом у працях вітчизняних та зарубіжних авторів пошук розв'язання вищезазначених питань здійснюється на базі використання оптимізаційних алгоритмів, внаслідок чого його практична реалізація стає складною задачею, яка потребує, крім потужного математичного забезпечення, значних витрат пам'яті й часу розрахунку на ЕОМ.

Аналітичне розв'язання, яке дає можливість швидкого та гнучкого розрахунку процесів у фільтрах нескладними й зручними обчислю-

вальними засобами (персональні ЕОМ, програмовні мікрокалькулятори), є відсутнім. Це особливо відчувається, коли здійснюються неодноразові розрахунки варіантів однакових вимог з метою отримання оптимального результату і звертання до ЕОМ високої продуктивності супроводжується втратою оперативності та додатковими витратами.

Виняток становлять роботи, що являють собою частинні аналітичні розв'язання окремих задач зазначеного напрямку досліджень.

Мета роботи та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка аналітичних методів синтезу аналогових та дискретних фільтрів з обмеженими смугами пропускання і затримання, які покращували б якісні характеристики цих фільтрів.

Процедуру синтезу можна здійснювати таким чином, щоби необхідні властивості кола, що реалізується, враховувались при пошуку функції кола, тобто при розв'язанні задачі апроксимації АЧХ. Підхід до синтезу, поданий у даній роботі, відзначається саме такою тенденцією – зосередити увагу в процесі розв'язання проблем синтезу головним чином на етапі апроксимації.

Мета досягається шляхом розв'язання наступних задач:

- розробка методів апроксимації АЧХ аналогових і дискретних фільтрів з обмеженою смугою пропускання (ОСП) та обмеженою смугою затримання (ОСЗ), що дозволяли б знижувати добротність полюсів їхніх передаточних функцій;
- аналіз впливу введених обмежень на основні характеристики фільтрів;
- експериментальні дослідження фільтрів з ОСП та ОСЗ.

Методи дослідження. При розв'язанні поставлених задач використовувались методи теорії електричних кіл, теорії аналогових та дискретних фільтрів, теорії цифрової обробки сигналів, теорії чутливості, методи математичного моделювання на ЕОМ.

Наукова новизна. В дисертаційній роботі отримано наступні нові результати:

1. Розроблено аналітичний метод апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП і ОСЗ та покращеними якісними характеристиками.
2. Здійснено аналіз впливу обмежень, що накладаються на АЧХ фільтра, на основні характеристики фільтра, підтверджуючий ефективність запропонованого методу.
3. Розроблено метод апроксимації АЧХ рекурсивних дискретних

фільтрів (РДФ) з ОСП і ОСЗ та покращеними якісними характеристиками, у тому числі зі знизеним вихідним шумом.

4. Розроблено метод апроксимації АЧХ РДФ з високою точністю наближення до АЧХ аналогового прототипу (АП), враховуючи передаточну функцію у вигляді неправильного дробу.

5. Запропоновано модифікований метод інваріантного перетворення імпульсної характеристики (ПІХ) РДФ з узагальненням на передаточну функцію прототипу у вигляді неправильного дробу.

Практична цінність. 1. Розроблені методи розв'язання задачі апроксимації аналогових і дискретних фільтрів з ОСП та ОСЗ дозволяють розв'язувати задачі виготовлення високовибірних пристроїв частотної селекції сигналів із стабільними характеристиками, що сприяє мікромініатюризації апаратури, поліпшенню її техніко-економічних показників. 2. Розроблені методики, доведені до простих аналітичних розрахункових співвідношень, графіків і таблиць, сприяють значному скороченню часу, необхідного для проектування аналогових і рекурсивних дискретних фільтрів. 3. Програма апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ, написана мовою ФОРТРАНТ-IV, приводить до скорочення часу, витрачуваного на проектування фільтрів, підвищення точності й ефективності розв'язання апроксимаційної задачі.

Реалізація результатів роботи. Результати дисертації знайшли використання в НДР і НДЮКР: при розробці програм розрахунку активних РС-фільтрів для пристроїв передачі сигналів (ППС) (номер держреєстрації - ВІО55776); при розробці активних РС-фільтрів для системи передачі сільського зв'язку (номери держреєстрації - ОІ860006І08, ОІ8700084І7), що проводились в ОЕІЗ ім О.С. Попова.

Розраховані за допомогою розробленої програми апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ активні РС-фільтри впроваджено в апаратуру сільського зв'язку СП-3, серійний випуск якої здійснює Уфимський завод "Промзв'язок".

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: регіональній школі-семінарі "Активні селективні системи" (м. Таганрог, 1986р.), на республіканському семінарі "Проектування селективних РС-систем апаратури зв'язку" (м. Одеса, 1986 р.), на республіканській НІК "Досвід розробки і впровадження фільтрів в аналогові та цифрові системи передачі" (м. Одеса, 1986 р.), на НІК професорсько-викла-

дацького складу та наукових співробітників ОЕІЗ ім О.С. Попова (м. Одеса, 1983-1994 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 9 праць.

Обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та додатків. Робота містить 258 с., в тому числі 114 с. тексту, 62 с. рисунків та таблиць, бібліографію зі 107 найменувань на 15 с., 5 додатків на 67 с.

Основні положення, які виносяться на захист:

1. Аналітичний метод апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ, що дозволяє знижувати добротність полюсів передаточної функції.

2. Результати аналізу впливу обмежень АЧХ на середньоквадратичну амплітудну чутливість фільтра, на його ФЧХ, на порядок та максимальну добротність полюса коефіцієнта передачі.

3. Метод апроксимації АЧХ РДФ з ОСП та ОСЗ, забезпечуючий можливість зниження добротності полюсів передаточної функції фільтра.

4. Результати аналізу впливу обмежень АЧХ на вихідний шум рекурсивного цифрового фільтру (РЦФ), зумовлений квантуванням вхідного сигналу.

5. Метод апроксимації АЧХ РДФ, що дозволяє отримати високу точність наближення АЧХ РДФ до АЧХ прототипу.

6. Модифікований метод ІПХ.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність, сформульовано мету й задачі дисертаційної роботи, подано основні наукові результати і положення, що виносяться на захист, а також коротке описання роботи.

В першому розділі з метою підвищення стабільності АЧХ, розширення динамічного діапазону аналогових фільтрів та покращення технологічності при їхньому виготовленні розроблено метод апроксимації АЧХ аналогових фільтрів нижніх частот (ФНЧ) з ОСП і ОСЗ, який дозволяє знижувати добротність полюсів передаточної функції. При цьому розглядаються вимоги до АЧХ фільтра, що мають вигляд: у смузі пропускання (СП) $\Omega_3 \leq \Omega \leq \Omega_1$ робоче ослаблення фільтра не більше ніж A_1 , у смузі затримання (СЗ) $\Omega_2 \leq \Omega \leq \Omega_4$ робоче ослаблення не менше ніж A_2 ($\Omega = f / f_0$ - нормована частота).

Можливість зниження добротностей полюсів передаточної функції забезпечується за рахунок підвищення їх кратностей. Квадрат модуля коефіцієнта передачі фільтра розглядається у формі

$$T^2(\omega) = \left\{ \frac{1}{1 + \varepsilon^2 [P_g(\omega)]^{2r}} \right\}^m, \quad (1)$$

де $P_g(\omega) = U_g(\omega)/S_g(\omega)$ - функція фільтрації; $r = 1, 2, 3, \dots$ та $m = 1, 2, 3, \dots$ - параметри кратності.

Апроксимацію можна здійснювати шляхом одночасного підвищення кратностей усіх полюсів та нулів, тобто шляхом варіювання параметра m у формулі (1); шляхом підвищення кратностей нулів, тобто шляхом варіювання параметра r . При варіюванні параметра m в разі необхідності можна кратність нулів зменшити до одиниці і поліпшити селективні властивості фільтра. Відповідний квадрат модуля апроксимуючої функції має вигляд

$$T_1^2(\omega) = \frac{S_{gm}^2(\omega)}{[S_g^2(\omega) + \varepsilon^2 U_g^2(\omega)]^m}, \quad (2)$$

де S_{gm} - знаменник функції фільтрації порядку gm .

Даний випадок відповідає апроксимації кратними полюсами. Врешті рещт, розв'язувати задачу можна зміною порядку функції фільтрації g або варіюванням сполучення параметрів g, m, r .

Для розв'язання задачі з урахуванням обмеженості частотних смуг пропонується нереактивна перетворююча функція

$$\omega^2 \rightarrow \frac{\Omega_1^2 - \Omega_4^2}{\Omega_1^2 - \Omega_3^2} \cdot \frac{\Omega^2 - \Omega_3^2}{\Omega^2 - \Omega_4^2}, \quad (3)$$

яка переводить інтервал $\Omega_3 \leq \Omega \leq \Omega_4$ в інтервал $0 \leq \omega \leq \infty$. Якщо у формулі (1) чи у формулі (2) замінити ω^2 на функцію (3), то отримаємо форму $A(\Omega)$ у інтервалі частот від Ω_3 до Ω_4 , таку ж саму, якою вона була в інтервалі частот від 0 до ∞ . Ця АЧХ відповідає АЧХ ФНЧ з ОСП і ОСЗ. Використання перетворення (3) до функцій, вміщуючих тільки комплексно-спряжені нулі та полюси, приводить до фізично реалізованих передаточних функцій. Таким чином, перетворені за допомогою (3) квадрати поліномів Баттерворта, Чебишева парного порядку, дробів Чебишева, Золотарьова-Кауера тощо з поліномами чисельника і знаменника парного порядку можуть бути використані до апроксимації АЧХ ФНЧ з ОСП та ОСЗ. Задача розв'язується так само, як із використанням звичайних поліномів та дробів.

За наведеною методикою розроблено машинний алгоритм та програму ЗОЛОТ апроксимації АЧХ ФНЧ з ОСП та ОСЗ з використанням у якості функції фільтрації перетвореного дробу Золотарьова-Кауера парного порядку. З метою визначення коефіцієнтів чисельника перетвореного дробу Золотарьова-Кауера порядку $2N$ (N - ціле число) знайдено рекурентне співвідношення:

$$a_{2(k-j+l)} = A_{(k,j)} M_{n-k}^l c^l + \tilde{a}_{2(k-j+l)}$$

при $l = 0, 1, 2, \dots, n - k$; $j = 0, 1, 2, \dots, k$; $k = 0, 1, 2, \dots, n$; $n = 1, 2, 3, \dots, N$,

де $\tilde{a}_{2(k-j+l)}$ - коефіцієнти попереднього кроку ітерації;

$$[\tilde{a}_{2(k-j+l)} = 0 \text{ якщо } k-j+l \leq 0]; \quad A_{(k,j)} = b^k c_{2k} I_k^j d^j;$$

$$M_{n-k}^l = \frac{(n-k)!}{l! (n-k-l)!}; \quad I_k^j = \frac{k!}{j! (k-j)!};$$

$$b = (\Omega_4^2 - \Omega_1^2) / (\Omega_1^2 - \Omega_3^2); \quad c = 1 / \Omega_4^2; \quad d = \Omega_3^2$$

c_{2k} - коефіцієнти чисельника нормованого порядку $2N$ дробу Золотарьова-Кауера.

Для підрахунку коефіцієнтів знаменника S_{2k} перетвореного дробу Золотарьова-Кауера порядку $2N$ визначено рекурентні формули:

$$S_0 = \tilde{S}_0 (d_k^2 + b d);$$

$$S_{2k-j} = \tilde{S}_{2k-(j-2)} (d_k^2 c + b) + \tilde{S}_{2k-j} (d_k^2 + b d);$$

$$S_{2k} = \tilde{S}_{2k-2} (d_k^2 c + b)$$

при $j = 2, 4, 6, \dots, 2k - 2$, $k = 1, 2, 3, \dots, N$;

де \tilde{S}_{2k} - коефіцієнти попереднього кроку ітерації.

При $k = 1$; $\tilde{S}_0 = 1$; $\tilde{S}_2 = 0$; $\tilde{S}_{-2} = 0$ для k -ї половини дробу Золотарьова-Кауера.

На прикладі апроксимації запропонованою методикою АЧХ ФНЧ зроблено порівняльний аналіз отриманих результатів, орієнтований на каскадно-розв'язаний метод реалізації на базі активних RC-ланок

другого порядку, демонструючи переваги розв'язання задачі з використанням поданого методу.

Далі викладаються результати аналізу впливу обмежень АЧХ на середньоквадратичну амплітудну чутливість фільтра, які показують, що у випадку апроксимації АЧХ фільтра з ОСП, ОСЗ чи ОСП та ОСЗ, урахування обмежень, що призводить до падіння порядку передаточної функції, зумовлює зменшення середньоквадратичної чутливості фільтра. Якщо падіння порядку не відбувається, чутливість фільтра незначно підвищується.

У другому розділі здійснено аналіз впливу обмежень АЧХ на порядок та максимальну добротність полюса передаточної функції фільтра, а також на його фазо-частотну характеристику. Аналіз проведено для трьох випадків:

- 1) коли обмежено СП;
- 2) коли обмежено СЗ;
- 3) одночасне обмеження СП та СЗ.

Апроксимація здійснювалася за допомогою ЕОМ з використанням програми ЗОЛОТ. До оцінки швидкості зміни добротності введено параметр, який визначається за формулою

$$\delta = [(q_2 - q_1) / q_1] \cdot 100\%$$

де q_1 - максимальна добротність полюса у випадку апроксимації без обмежень; q_2 - максимальна добротність полюса у випадку апроксимації з обмеженнями.

Результати аналізу впливу обмежень на порядок та максимальну добротність полюса передаточної функції дозволили дійти висновків:

1. Апроксимація з урахуванням обмежень у СП, СЗ або СП та СЗ одночасно призводить до зниження порядку передаточної функції. Швидкість падіння порядку буде тим вищою, чим значніше обмеження й більше A_2 .

2. Розв'язання задачі апроксимації АЧХ фільтра з ОСП, ОСЗ або ОСП та ОСЗ призводить до значного підвищення максимальної добротності тільки при достатньо великих обмеженнях ($\Omega_3 > 0,6$; Ω_4 , близьких до Ω_2), при цьому збільшується запас по ослабленню в СЗ.

Чисельний аналіз результатів аналізу впливу обмежень на АЧХ фільтра здійснювався в використанні параметра Δ , визначуваного за формулою

$$\Delta = T_{\max} - T_{\min},$$

де T_{\max} і T_{\min} відповідно найбільше та найменше значення групового часу сповільнення у СП фільтра. Внаслідок здійснення аналізу було зроблено висновок: урахування обмежень незначно впливає на Δ у заданій обмеженій СП.

Третій розділ присвячено розробці методів апроксимації АЧХ РДФ з покращеними якісними характеристиками.

Запропоновано метод апроксимації АЧХ РДФ з ОСП та ОСЗ, що ґрунтується на використанні методу апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ і білінійного перетворення. Апроксимація АЧХ фільтра за запропонованим методом дозволяє отримати передаточну функцію більш високоякісну у розумінні порядку та добротності полюсів, порівняно з методом білінійного перетворення.

Для практичного використання передаточних функцій РЦФ, отриманих за допомогою запропонованого методу, здійснено аналіз впливу обмежень АЧХ на вихідний шум, зумовлений квантуванням вхідного сигналу. Оскільки апроксимація за запропонованим методом на базі перетвореного дробу Золотарьова-Кауера приводить до передаточної функції РЦФ з нулями, розташованими на одиничному колі, для вищезазначеного вигляду функції другого порядку знайдено співвідношення дисперсії вихідного шуму:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{вих}}^2 = & \sigma_{\text{вх}}^2 \frac{r^2(1+r^2)(2\cos 2\theta + 1) - (1+r^6)}{r^2(1-r^2)(r^4+1-2r^2\cos 2\theta)} + \\ & + \frac{-16r^3\cos\theta\cos\theta + 2r^2(1+2\cos^2\theta)(1+r^2)}{r^2(1-r^2)(r^4+1-2r^2\cos 2\theta)} + \frac{1}{r^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де r і θ - відповідно радіус та кут полюса, а θ - кут нуля передаточної функції РЦФ 2-го порядку; $\sigma_{\text{вх}}^2$ - дисперсія шуму квантування вхідного сигналу (припускається, що на вході фільтра є адитивний білий шум з нульовим середнім та дисперсією $\sigma_{\text{вх}}^2 = \Delta^2/12$, де Δ - крок квантування).

На основі аналізу, проведеного з використанням співвідношення (4), показано, що:

- у випадку $f_d \approx 2f_1$, де f_d - частота дискретиза-

ції вхідного сигналу, урахування обмежень, що призводить до падіння порядку передаточної функції фільтра, зумовлює зменшення дисперсії вихідного шуму. Якщо падіння порядку не відбувається, дисперсія вихідного шуму незначно збільшується;

- у випадку $f_d \gg 2f_c$ із зменшенням граничної частоти СЗ вихідний шум зменшується.

Метод апроксимації АЧХ РДФ з ОСП та ОСЗ має незначну ефективність, якщо вимоги до АЧХ РДФ відрізняються від функції кусково-постійного типу, оскільки використання білінійної перетворюючої функції призводить до деформації частотної шкали під час переходу від АЧХ аналогового прототипу (АП) до АЧХ РДФ. В даному розділі запропоновано метод апроксимації, що дозволяє здійснити перехід від АЧХ прототипу до АЧХ РДФ з високою точністю наближення.

Метод базується на розгляданні передаточної функції РДФ у вигляді

$$H(Z) = A_0 \cdot T \sum_{i=1}^M \frac{Q_i(P_i)}{S_i'(P_i)} \cdot \frac{1}{1 - e^{P_i T} Z^{-1}}, \quad (5)$$

де A_0 - постійна; T - період дискретизації вхідного сигналу; $Q_i(P)$; $S_i'(P)$; P_i ; M - відповідно поліном чисельника, поліном знаменника, i -й полюс та ступінь поліному знаменника передаточної функції АП.

Згідно зі співвідношенням (5) розробляється таблиця переходу від передаточної функції АП до передаточної функції РДФ до усіх можливих типів функцій першого та другого порядків у припущенні, що $f_d \gg f_{gr}$ (f_{gr} - гранична робоча частота фільтра).

Задача апроксимації розв'язується у Р-площині за методикою апроксимації АЧХ фільтра з ОСП та ОСЗ, що дозволяє забезпечити вимогу розташування полюсів та нулів передаточної функції прототипу у діапазоні $(0 \div \frac{f_d}{2})$. Передаточна функція аналогового прототипу розглядається у вигляді добутку множників першого та другого порядків, далі з використанням таблиці переходу здійснюється перехід до передаточної функції дискретного фільтра.

Проведені за викладеною методикою розрахунки на базі ЕОМ підтвердили її ефективність збігом АЧХ РДФ з АЧХ прототипу з високим ступенем точності.

З метою розширення області використання методу ПІХ у разі, коли передаточна функція прототипу є неправильним дробом, запропо-

новано модифікований метод ПІХ. Він базується на використанні методу апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ, після чого коефіцієнт передачі прототипу подається у вигляді суми додатків першого, другого порядків. Далі кожний додаток замінюється на його еквівалент із таблиці переходу. При цьому передаточна функція РДФ також отримується у вигляді суми додатків першого, другого порядків.

У четвертому розділі запропоновано результати розробок активних РС-фільтрів з ОСП та ОСЗ, здійснених для апаратури передачі сільського зв'язку СП-3 та пристроїв перетворення сигналів (ППС).

На рис. 1 суцільною лінією зображено функціональну залежність вимог до АЧХ смугового фільтра ПФ-І2...І6, розробленого у якості каналного пристрою частотної селекції сигналу, що входить до складу апаратури СП-3. Апроксимація здійснювалась з використанням методу апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ шляхом розбиття вимог на частини та апроксимації кожної частини окремо. Передаточна функція усього фільтра є добуток передаточних функцій, отриманих внаслідок апроксимації за частинами. Вона має 28-й порядок і максимальні добротності: $Q_1 = 3,6$; $Q_2 = 14,9$; $Q_3 = 18,9$.

Для порівняння, результати апроксимації АЧХ фільтра-аналога, здійсненої з використанням класичних методів, пропонують передаточну функцію І6-го порядку із добротностями полюсів: $Q_{1,2} = 45$; $Q_{3,4} = 67$; $Q_{5,6} = 92$; $Q_{7,8} = 260$.

Реалізацію фільтра ПФ-І2...І6 здійснено каскадно-розв'язаним методом на базі активних РС-ланок другого порядку. Розрахунки та виміряна АЧХ фільтра наведені на рис. 1 відповідно штриховою та штрих-пунктирною лініями. Випробування довели, що фільтр має високу стабільність характеристик.

Розроблено активний фільтр нижніх частот типу ФНЧ-3, 4, що входить до складу блока "Пристрій індивідуальний" (ПІ) СП-3, призначений для створення стандартного спектра каналу ТЧ. Методика апроксимації АЧХ ФНЧ-3, 4 є аналогічною за методикою апроксимації АЧХ ПФ-І2...І6. При цьому отримана передаточна функція має І2-й порядок і добротності полюсів: $Q_{1,2} = 0,74$; $Q_{3,4} = 3,27$; $Q_{5,6} = 18,36$. Схемне рішення ФНЧ-3, 4 здійснено каскадно-розв'язаним методом на базі активних РС-ланок другого порядку. Розробка ФНЧ-3, 4 впроваджено в апаратуру СП-3, що знизило собівар-

Розрахункова та вимірювана частотні характеристики робочого ослаблення ПФ-12...16

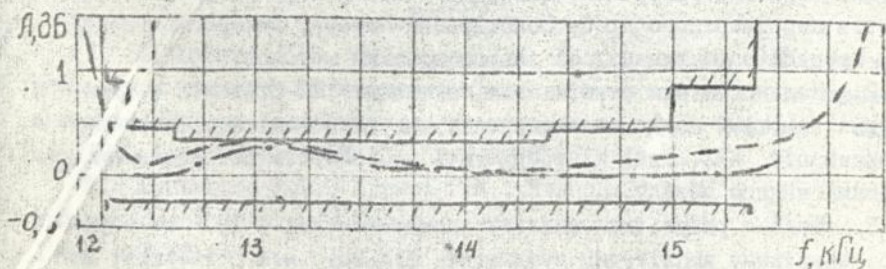
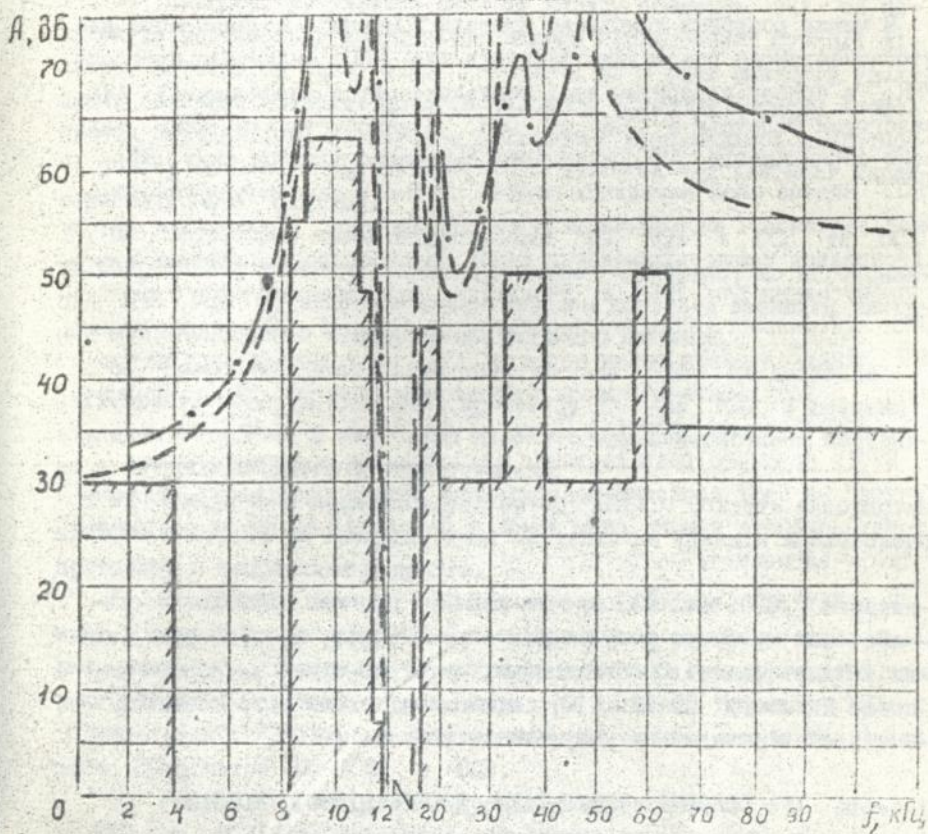


Рис. 1

тість станції, її масогабарити, скоротило список комплектуючих. Серійний випуск апаратури СП-3 здійснює Уфимський завод "Промзв'язок".

В межах розробки комплексу програм "Синтез", призначеного для автоматизованого розрахунку фільтрів для ППС, написано програму APPR, в основу алгоритму якої покладено метод апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ. З використанням APPR здійснено апроксимацію АЧХ активного смугового фільтра типу ПФ-ІОСО. Задача розв'язувалась шляхом розбиття загальної функціональної залежності на НЧ-частину та ВЧ-частину. Програмним шляхом здійснювався пошук оптимальних вимог до робочого ослаблення в смузі пропускання для НЧ- і ВЧ-частин, які забезпечували б отримання мінімального порядку передаточної функції. З використанням APPR ліквідувався також перекіс АЧХ на границях смуг затримання. В результаті отримано передаточну функцію 10-го порядку з добротностями полюсів $Q_{1-4} = 2,46$; $Q_5 = 2,68$.

Вибір схемного розв'язування здійснювався з використанням "Синтез" на базі каскадно-розв'язаного методу реалізації, шляхом автоматизованого пошуку схем ланок з базового набору та розрахунку їхніх елементів.

У додатках приведені опис та лістинг програм ЗОЛОТ, порівняльна характеристика результатів апроксимації, фазо-частотні характеристики фільтрів з обмеженнями, детальне описання апроксимації АЧХ фільтра ПФ-І2...І6, принципові схеми розроблених фільтрів, акт впровадження результатів роботи. ●

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Розроблено аналітичний метод апроксимації АЧХ аналогових фільтрів з ОСП та ОСЗ, та покращеними якісними характеристиками. Отримано рекурентні співвідношення для розрахунку коефіцієнтів перетвореного дробу Золотарьова-Кауера, використовуюваного у процесі апроксимації за запропонованим методом.

2. Надано оцінки стабільності активних РС-фільтрів з ідентичними вимогами щодо селективності при різноманітних способах апроксимації АЧХ, які підтверджують доцільність використання запропонованого методу.

3. Подано результати аналізу впливу обмежень АЧХ на середньоквадратичну амплітудну чутливість фільтра, які показують, що

у разі падіння порядку передаточної функції значення квадратичної амплітудної чутливості зменшується. Якщо падіння порядку не відбувається, чутливість фільтра збільшується незначно.

4. Наведені результати аналізу впливу обмежень АЧХ на порядок та максимальну добротність полюса передаточної функції фільтра, а також на його ФЧХ. Показано, що у ряді випадків урахування обмежень дозволяє досягти значного зниження порядку коефіцієнта передачі при незначному збільшенні максимальної добротності полюсу та незначному збільшенню відхилення від лінійної характеристики ФЧХ фільтра.

5. Розроблено метод апроксимації АЧХ РДФ з ОСП та ОСЗ та покращеними якісними характеристиками. Показано, що апроксимація АЧХ РДФ за запропонованим методом дозволяє зменшити вихідний шум, зумовлений квантуванням вхідного сигналу.

6. Розроблено метод апроксимації АЧХ РДФ, що дозволяє здійснювати перехід від АЧХ прототипу до АЧХ РДФ з високим ступенем точності, й має більш широку сферу використання порівняно з методом згідного Z -перетворення.

7. Розроблено модифікований метод ШІХ. Область використання його поширена на випадок, коли передаточна функція аналогового прототипу є неправильним дробом.

8. Розроблено активні РС-фільтри з ОСП та ОСЗ, впроваджені в апаратуру зв'язку СП-3, що дозволило зменшити масогабарити апаратури, поліпшити її технологічність і експлуатаційні характеристики. Серійний випуск апаратури здійснює Уфімський завод "Промзв'язок". Здійснено автоматизований синтез активного смугового РС-фільтра ПФ-1080 з ОСЗ.

9. Розроблено алгоритми і програму апроксимації АЧХ фільтрів з ОСП та ОСЗ, за допомогою яких розв'язано задачу апроксимації АЧХ фільтрів для апаратури сільського зв'язку СП-3.

Основні результати дисертації подані в наступних
працях

1. Іваницький А.М., Бубенцова Л.В. Апроксимація АЧХ фільтрів нижніх частот с обмеженими полосами пропускання и задерживания / Одесск. электротехн. ин-т связи им. А.С. Попова. - Одесса, 1985 (рук. деп. в ВИЛТИ № 2439-85). - 15 с.

2. Бубенцова Л.В., Ергиев Г.Н., Іваницький А.М. и др. Активный полосовой фильтр // Информ. лист. Одесск. ЦНТИ. - Одесса, 1986. - № 86-077.

3. Бессчетнов Д.П., Бубенцова Л.В., Ергиев Г.Н. и др. Активный фильтр нижних частот // Информ. лист. Одесск. ЦНТИ. - Одесса, 1986. - № 86-095.

4. Бубенцова Л.В., Ергиев Г.Н., Иваницкий А.М. Разработка канального активного РС-фильтра аппаратуры сельской связи // Избирательные системы с обратной связью. - Таганрог: ТРТИ, 1987. - Вып. 6. - с. 129-133.

5. Иваницкий А.М., Бубенцова Л.В. Аппроксимация АЧХ рекурсивных дискретных фильтров с ограниченными полосами пропускания и задерживания / Одесск. электротехн. ин-т связи им. А.С. Попова. - Одесса, 1988 (рук. деп. в ЕИНИТИ, № 852-В88). - 20 с.

6. Бубенцова Л.В. Исследование влияния ограничений полосы пропускания и полосы задерживания на порядок и максимальную добротность полюса передаточной функции фильтра // Укр. Гос. академия связи: - Одесса, 1994 (Рук. деп. в ГНТБ Украины, №1884-УК94).

7. Бубенцова Л.В. Фазо-частотные характеристики фильтров с ограниченными полосами пропускания и задерживания // Укр. Гос. академия связи. - Одесса, 1994 (Рук. деп. в ГНТБ Украины, № 1845 - УК 94).

8. Иваницкий А.М., Бубенцова Л.В. Метод аппроксимации амплитудно-частотных характеристик рекурсивных дискретных фильтров // Укр. Гос. академия связи. - Одесса, 1995 (Рук. деп. в ГНТБ Украины, № III4-95).

9. Иваницкий А.М., Бубенцова Л.В. Аппроксимация АЧХ дискретных фильтров // Материалы 49-й областной научно-технической конференции. - Одесса, 1994. - с. 22, 23.

АННОТАЦИЯ

Л. В. Бубенцова. Синтез фильтров с ограниченными полосами пропускания и задерживания.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17. Радиотехнические и телевизионные системы и устройства. Украинская государственная академия связи им. А. С. Попова. - Одесса, 1996.

Работа посвящена проблемам синтеза фильтров. Разработаны аналитические методы аппроксимации АЧХ аналоговых и дискретных фильтров с ограниченными полосами пропускания и задерживания. Методы позволяют путем использования сравнительно простых расчетных соотношений конструировать передаточные функции, выгодно отличающиеся по порядку и добротностям полюсов от функций, полученных с применением известных методик. Приведены примеры разработок активных фильтров с ограниченными полосами пропускания и задерживания.

Ключевые слова: аппроксимация; частотное преобразование; ограничение частотной полосы; реализация.

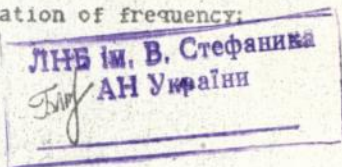
ANNOTATION

L. V. Bubentsova. Synthesis filters with limited passband and stopband.

Candidate of Technical Science dissertation on speciality 05.12.17. Radio-technical and TV-systems and devices. Ukrainian State Telecommunication Academy named after A. S. Popov. - Odessa, 1996.

The article concerns filters syntheses problems. Analytical methods of APC analogues and discretas filter approximations with limited passband and stopband are worked out. By using comparatively simple calculated co-factors the methods allow to construct transfer functions efficiently differing in order and Q-factor of poles from function got with implementations of known methods. The development examples of active filters with limited passband and stopband are given.

Key words: approximation; transformation of frequency; frequency band limitation. realisation.



Підписано по друку 6.03.1996р. Обсяг 0,84 друк. арк.

Зам. 61. Тираж 50. Формат 60x84¹/16.

Друк. УДАЗ Ім. О.С.Попова. Опеса, Старопортофранківська, 61

11015 81

447873

AB 34.944
AB 34.944