

На правах рукопису

ЗІАНГІРОВА Лідія Тагірянівна

УДК 621.372.54

СИНТЕЗ АКТИВНИХ РС-ФІЛЬТРІВ  
З БАГАТОПОЛОСНИМИ ІДЕАЛЬНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

- 05.12.17 - Радіотехнічні та телевізійні системи та пристрої;  
05.12.02 - Системи та пристрої передачі інформації по каналах зв'язку

А в т р е ф е р а т  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

А 6 29046

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

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
Івницький А.М.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,  
професор Парасочкін В.А.  
кандидат технічних наук  
доцент Арбузніков В.А.

Ведуче підприємство вказано в рішенні спеціалізованої ради  
КІІБ.05.01 Української державної академії зв'язку ім.О.С.Попова

Захист відбудеться "27" січня 1994 року  
в 10<sup>00</sup> годин на засіданні спеціалізованої ради КІІБ.05.01  
в Українській державній академії зв'язку ім.О.С.Попова за адресою:  
270021, Одеса, вул. Челюскінців, 1.

В дисертації можна ознайомитися в бібліотеці Української  
державної академії зв'язку.

Автореферат відправлено "27" грудня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради  
к.т.н., проф.

П.П. Воробієнко

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00755388 (-)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Науково-технічний прогрес в усіх галузях промисловості передбачає безперервне удосконалення систем передачі інформації, електронного обладнання систем зв'язку, контрольно-вимірної апаратури, систем автоматики, телемеханіки і т.і.

Електричні фільтри є невід'ємною частиною багатьох електронних пристроїв. Намічена стійка тенденція до мініатюризації апаратури визначається перспективністю створення надійних та досконалих у виробництві пристроїв, які не мають моточних елементів. Тому одним з основних напрямків розвитку техніки фільтрації є розробка активних RC-фільтрів. В рамках цього напрямку широко застосовується каскадний метод синтезу активних RC-фільтрів.

Поряд з безперечними перевагами методу – багаточисельність реалізаційних схем, систематизованих в довідкових посібниках, відносна простота розрахунку – мають місце труднощі при виробництві активних фільтрів, які задовольняють досить жорстким вимогам до виборності амплітудно-частотної характеристики. Характерне висока чутливість до зміни значення елементів схеми призводить до збільшення витрат на прецизійні елементи та налагодження фільтрів, які вимагають високої кваліфікації персоналу.

Пошук рішення цієї проблеми привів до розвитку другого напрямку – синтезу активних RC-фільтрів, які імітують прототип, коли індуктивності ланцюгового LC-прототипу замінюються активними аналогами. Витрати на розробку пасивних ланцюгових фільтрів-прототипів зводяться до мінімуму завдяки добре розробленим методам та таблицям. А властива їм якість низької чутливості амплітудно-частотної характеристики до зміни значень елементів схеми дозволяє вирішувати названі проблеми.

Існує ряд способів та схем побудови таких фільтрів, розроблених на базі ідеальних перетворювачів. Але відсутній єдиний підхід, який дозволяє систематизувати одержані результати та знайти нові варіанти розв'язків. Крім того, відомі схеми, які імітують високодобротні індуктивності, мають недостатню стабільність характеристики, що пояснюється залежністю цих характеристик від паразитних параметрів операційних підсилювачів. Процедура розрахунку багатьох схем укладена.

Ціль роботи. Розробке та дослідження методів синтезу активних RC-фільтрів, які імітують ланцюговий LC - прототип, з використанням багатополосних ідеальних перетворювачів, які покращують якісні характеристики активних фільтрів та знижують витрати на їх виробництво.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на використанні теорії лінійних електричних кіл, теорії матриць, алгебри багаточленів, теорії функцій комплексної змінної та теорії оптимізації.

Наукова новизна. Розроблено узагальнюючий метод синтезу активних RC-фільтрів, які імітують ланцюговий прототип, що має свою базу теорії багатополосних ідеальних перетворювачів.

Запропоновано новий спосіб синтезу активних RC-фільтрів, які мають ланцюговий прототип, з багатополосним комплексним інвертором опору. Розроблено алгоритм синтезу таких фільтрів та схемні рішення. Проведено порівняльне дослідження кіл, які імітують схему індуктивностей. Розроблені активні ланки другого порядку, які імітують пасивний прототип. Ці ланки заповнюють існуючі прогалини в каскадному синтезі активних RC-фільтрів.

Практична цінність результатів роботи. Розроблений метод та схемні рішення синтезу активних RC-фільтрів, які імітують ланцюговий LC-прототип, з багатополосним комплексним інвертором опору, дозволяє розв'язати задачу виготовлення високозбірних фільтрів зі стабільними характеристиками у вигляді гібридних інтегральних схем, що підвищує технологічність та здеешевляє пристрій. Розроблені програми апроксимації характеристик фільтрів передавальними функціями із заданою максимальною добротністю полюса та схеми активних ланок другого порядку, які імітують пасивний прототип, дозволяють вирішити проблеми зменшення кількості операційних підсилювачів та активних фільтрів.

Використання результатів роботи. Результати роботи використані при розробці активних фільтрів для триканальної системи передачі по стежкових мережах, яка виконана ОЕІЗ ім.О.С.Попова на замовлення КВНДІЗ. Економічний ефект від впровадження складає 30,8 тис.крб. за рік в цінах 1990 року, а також при розробці гібридної інтегральної схеми активного смугового фільтру, який застосовано в дослідній партії апаратури багатоканальної системи передачі для сільськогосподарського зв'язку СП-3 на Уфимському заводі

"Промзв'язок". Використання підтверджується відповідними актами.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на регіональній школі-семінарі "Активні вибірні системи", м. Таганрог, 1986 рік; на Республіканському семінарі "Проектування вибірних RC-систем апаратури зв'язку, м. Одеса, 1986 рік; на Республіканській школі-семінарі з теоретичної електротехніки та електроніки, м. Пацьк, 1987 рік; на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ОБІЗ ім. О.С. Попова в 1983-1992 роках.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 7 друкованих праць, в тому числі одне авторське свідоцтво на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, заключення, списку літератури із 100 назв, конусів та трьох додатків.

Основний зміст роботи викладено на 142 листах машинописного тексту, що містить 50 рисунків та 9 таблиць.

#### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ, ЯКІ ВНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ

1. Узагальнений метод синтезу активних RC-фільтрів з багатополосними ідеальними перетворювачами, які імітують пасивний ланцюговий прототип.
2. Метод синтезу та схемні рішення активних RC-фільтрів, які імітують ланцюговий LC-прототип, з багатополосним комплексним інвертором опору.
3. Активні ланки другого порядку, які імітують пасивний прототип.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано її ціль, вказані задачі дослідження, наукова новизна та практична цінність, сформульовані положення, які виносяться на захист.

В першому розділі проаналізовані особливості синтезу активних RC-фільтрів, які мають пасивний прототип, та розроблено узагальнений метод синтезу активних RC-фільтрів, які імітують

пасивний прототип, що базується на теорії багатопольсних ідеальних перетворювачів та на принципі взаємовідповідності.

Узагальнений метод полягає в розбитті вихідної пасивної ланки на дві частини, з'єднані багатопольсним ідеальним трансформатором (БІТ) з коефіцієнтом трансформації, який дорівнює одиниці, що є окремим випадком багатопольсного  $Q$ -перетворювача (БІ -  $Q$ ) як це показано на рис. 1.

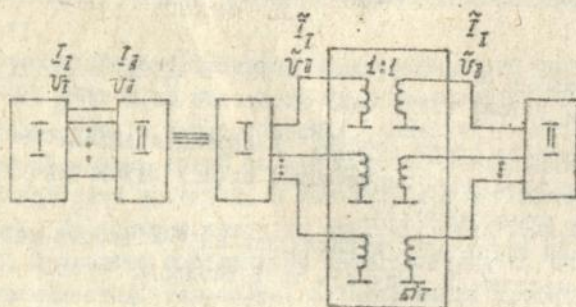


Рис. 1.

В зв'язку з розбиттям вихідної ланки на дві частини введені наступні типи взаємовідповідних ланок: подібно-подібні, подібно-зворотні, зворотні-подібні та зворотні-зворотні.

Подібно-подібними називаються ланки, у яких змінні зв'язані співвідношенням

$$\begin{bmatrix} U_I \\ I_I \\ I_I \\ I_{II} \end{bmatrix} - C_n \begin{bmatrix} \tilde{U}_I \\ \tilde{U}_{II} \\ \tilde{I}_I \\ \tilde{I}_{II} \end{bmatrix} = \left[ \begin{array}{cc|cc} f_{u1} & 0 & & 0 \\ 0 & f_{u2} & & 0 \\ \hline & & 1/f_{i1} & 0 \\ & & 0 & 1/f_{i2} \end{array} \right] \begin{bmatrix} \tilde{U}_I \\ \tilde{U}_{II} \\ \tilde{I}_I \\ \tilde{I}_{II} \end{bmatrix},$$

де  $U_I, I_I, \tilde{U}_I, \tilde{I}_I$  - змінні I частин взаємовідповідних ланок;  $U_{II}, I_{II}, \tilde{U}_{II}, \tilde{I}_{II}$  - змінні II частин взаємовідповідних ланок;  $C_n$  - матриця взаємозв'язку;  $f_{u1},$

$f_{i1}, f_{i2}, f_{i2}$  - будь-які дійсні числа або дрібно-раціональні функції комплексної частоти  $p$ .

При побудові подібно-подібної ланки опору гілок  $Z_{i1}$  та  $Z_{i2}$  вихідної ланки змінюються на опір гілок  $\tilde{Z}_{i1} = f_{i1} \cdot f_{i1} Z_{i1}$  та  $\tilde{Z}_{i2} = f_{i2} f_{i2} Z_{i2}$  без зміни способу з'єднання елементів. При цьому ВІ -  $Q$  перетворюється в багатополосний ідеальний перетворювач з наступною матрицею неавтономних параметрів  $Q$ :

$$Q = \left[ \begin{array}{cc|cc} & & & \\ & 0 & \frac{1}{f_{i1} f_{i2}} Y_{12} & \frac{f_{i2}}{f_{i1}} G_{12} \\ \hline \frac{1}{f_{i2} f_{i1}} Y_{21} & \frac{f_{i1}}{f_{i2}} H_{21} & & \\ & & & 0 \\ \frac{f_{i2}}{f_{i1}} G_{21} & f_{i2} f_{i1} Z_{21} & & \end{array} \right]$$

В табл. 1 наведено матриці взаємозв'язку, які визначають подібно-зворотні, зворотно-подібні та зворотно-зворотні ланки, алгоритм побудови таких ланок та параметри багатополосного ідеального перетворювача.

Таким чином, синтез активних  $RC$ -фільтрів, які імітують пасивний прототип, полягає в пошуку взаємовідповідних ланок.

Показано, що відомі способи синтезу активних  $RC$ -фільтрів, які імітують пасивний прототип, є варіантами взаємовідповідних ланок, які одержані узагальненим методом, що ілюструє табл. 2.

Виділено новий спосіб синтезу активних  $RC$ -фільтрів, які імітують пасивний  $LC$ -прототип, коли подібно-зворотна вихідна ланка має в своєму складі багатополосний комплексний інвертор опору (ВІО), матриця вхідних провідностей якого дорівнює

$$Y_{\text{вх}} = Y_{12} R_2 Y_{21} = f_{i1} f_{i1} \tilde{R}_2 = K_1 / p \cdot K_2 R_2,$$

Тип ланки	$C_n$	Алгоритми побудови	Матриця неавтономних параметрів БП
Подібно-зворотна	$\begin{array}{c c} f_{u1} 0 & 0 0 \\ \hline 0 0 & 0 \frac{1}{f_{u2}} \end{array}$	<p>Частина I вихідної ланки</p> <p>замінюється подібною</p> <p><math>\tilde{z}_{i1} = f_{u1} f_{i1} z_{i1}</math>, частина II дуалізується</p> <p><math>\tilde{y}_{i1} = f_{u2} f_{i2} z_{i1}</math></p>	$\begin{array}{c c} 0 & \begin{array}{c} \frac{f_{i2}}{f_{i1}} G_{i2} \frac{1}{f_{i1} f_{u2}} Y_{i2} \\ f_{u1} f_{i2} z_{i2} \frac{f_{u1}}{f_{u2}} H_{i2} \end{array} \\ \hline \frac{1}{f_{i2} f_{u1}} Y_{i2} \frac{f_{u1}}{f_{i2}} H_{i2} & 0 \end{array}$
Зворотньо-подібно	$\begin{array}{c c} 0 0 & \frac{1}{f_{i1}} 0 \\ \hline 0 f_{u2} & 0 0 \\ \hline f_{u1} 0 & 0 0 \\ \hline 0 0 & 0 \frac{1}{f_{i2}} \end{array}$	<p>Частина I вихідної ланки дуалізується</p> <p><math>\tilde{y}_{i1} = f_{u1} f_{i1} z_{i1}</math></p> <p>Частина II замінюється подібною:</p> <p><math>\tilde{z}_{i1} = f_{u2} f_{i2} z_{i1}</math></p>	$\begin{array}{c c} 0 & \begin{array}{c} \frac{f_{u1}}{f_{u2}} H_{i2} f_{u1} f_{i2} z_{i2} \\ \frac{1}{f_{i1} f_{u2}} Y_{i2} \frac{f_{i2}}{f_{i1}} G_{i2} \end{array} \\ \hline \frac{f_{i1}}{f_{i2}} H_{i2} \frac{1}{f_{i2} f_{u2}} Y_{i1} & 0 \\ \hline f_{u2} f_{i2} z_{i2} \frac{f_{u2}}{f_{u1}} G_{i2} & \end{array}$
Зворотньо-зворотна	$\begin{array}{c c} 0 & \frac{1}{f_{i1}} 0 \\ \hline f_{u1} 0 & 0 \frac{1}{f_{i2}} \\ \hline 0 f_{u2} & 0 \end{array}$	<p>Частина I та II вихідної ланки дуалізується</p> <p><math>\tilde{y}_{i1} = f_{u1} f_{i1} z_{i1}</math>, <math>\tilde{y}_{i2} = f_{u2} f_{i2} z_{i2}</math></p>	$\begin{array}{c c} 0 & \begin{array}{c} f_{u1} f_{i2} z_{i2} \frac{f_{u1}}{f_{u2}} H_{i2} \\ \frac{f_{i2}}{f_{i1}} G_{i2} \frac{1}{f_{i1} f_{u2}} Y_{i2} \end{array} \\ \hline f_{u2} f_{i2} z_{i2} \frac{f_{u2}}{f_{u1}} G_{i2} & \begin{array}{c} \frac{f_{i1}}{f_{i2}} H_{i2} \frac{1}{f_{u2} f_{u1}} Y_{i2} \\ 0 \end{array} \end{array}$

Таблиця 2

I частина вихідної ланки	II частина вихідної ланки	I частина шуканої ланки	II частина шуканої ланки	$f_{c1}$	$f_{c1}$	$f_{c2}$	$f_{c2}$	Параметри триполюсних	Метод
RLC	RLC	RC суперемності	$\tilde{R}$ суперіндуктивності	$K_1$	$\frac{K_2}{p}$	$K_3$	$K_4 p$	$G_{12} = -\frac{K_4 p^2}{K_2}$ $G_{21} = -\frac{K_3}{K_1}$	Buton Martin, Hasler
R	-R, -C	$\tilde{R}$	$\tilde{RC}$	1	1	1	-1	$G_{12} = 1$ $G_{21} = 1$	Singh, Savada
RLC	RLC	$\tilde{RLC}$	$\tilde{RLC}$	$-\frac{1}{m}$	-1	$\frac{p_1}{m}$	p	$G_{12} = p_1$ $G_{21} = -p_1$	Piedade, Silva
L	RC	$\tilde{R}$	$\tilde{RC}$	$K_1$	$\frac{K_2}{p}$	$K_3$	$K_4$	$G_{12} = -\frac{K_4}{p}$ $G_{21} = \frac{K_3}{K_1}$	Goosky- Popiel
L	RC	$\tilde{C}$	$\tilde{RC}$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$Y_{12} = \frac{K_1}{K_3}$ $Y_{21} = -\frac{K_2}{K_4}$	Holt, Linggard, Ochard
-R, -C	RLC	$\tilde{RC}$	$\tilde{R}$	$K_1$	$-K_2$	$K_3$	$\frac{K_4}{p}$	$G_{12} = \frac{K_4}{K_2} p$ $G_{21} = \frac{K_3}{K_1}$	Yukio, Ishibashi

$$F^* = \frac{S^2 \frac{1}{m} (m + \frac{1}{n}) \omega_0 S + \omega_0^2}{m n \omega_0 S}$$

де  $R2$  - матриця опору навантаження БЮ;  $K_1, K_2$  додатні числа.

З цього виразу видно, що БЮ, який навантажений на схему опорів, імітує схему індуктивностей.

Другий розділ дисертації присвячений розробці методу синтезу активних  $RC$ -фільтрів, які мають пасивний ланцюговий прототип, з використанням багатополосного комплексного інвертора опору.

Показано, що чутливість амплітудно-частотної характеристики до зміни значень елементів узагальнено-подібних та узагальнено-зворотних схем не змінюється порівняно з пасивним ланцюговим прототипом, який характеризується низькою чутливістю.

Запропонована схема багатополосного комплексного інвертора опору, яка складається в загальному випадку з триполосних інверторів опору та інверторів опору з симетрією одного входу відносно загальної точки схеми, як показано на рис. 2.

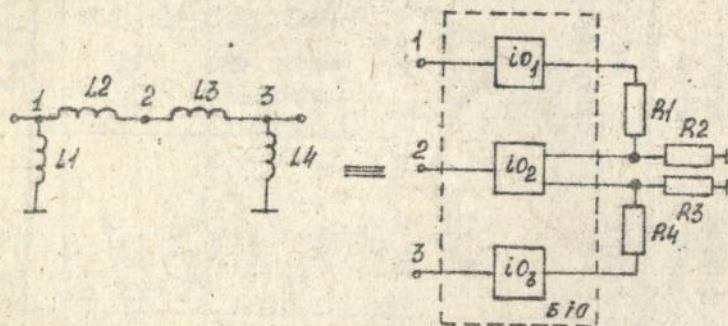


Рис. 2

Запропоновані та проаналізовані схеми триполюсного інвертора опору та інвертора опору з симетрією одного входу відносно загальної точки схеми.

Розроблено наступний алгоритм синтезу активних  $RC$ -фільтрів, які імітують пасивний ланцюговий прототип з багатопольним комплексним інвертором опору.

1. Вибір схеми пасивного ланцюгового  $LC$ -фільтра, що реалізує передавальну функцію, яка задовольняє заданим технічним вимогам до фільтра, що проектується, та розрахунок її елементів.

2. Виділення схеми індуктивностей  $LC$ -фільтра та пошук дуальної схеми опорів навантаження  $ВІО$ , як показано, наприклад, на рис. 3.

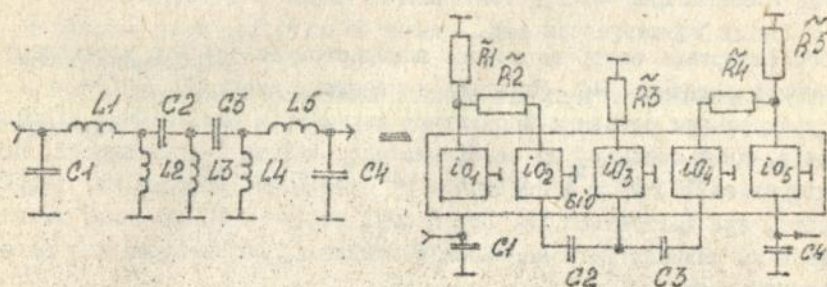


Рис. 3

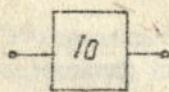
3. Розробка та розрахунок схеми  $ВІО$  та опорів навантаження  $ВІО$ .

Для прикладу на рис. 4 показана схема триполюсного інвертора опору.

Для триполюсного  $ІО$ :  $G_1 = 1/C_1 R_1 R_5$  та  $G_2 = (R_2 + R_3)/R_2 R_4$ .

Звідси значення  $i$ -го опору навантаження  $ВІО$ :  $\tilde{R}_i = \frac{C_1 R_1 R_2 R_4 R_5}{L_i (R_2 + R_3)}$ .

Виконано порівнювальний аналіз схем розробленого триполюс-



і-ту індуктивність схеми індуктивностей, що імітується, можна вирізати через параметри відповідного Ю таким чином:

$$b_i = 1/\tilde{R}_2 G_2$$

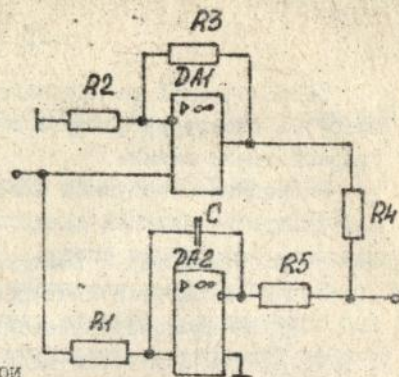


Рис. 4.

ного інвертора опору та широко використовуваного при каскадному синтезі активних  $RC$ -фільтрів конвертора опору  $KO$  Antonio з урахуванням основних паразитних параметрів операційних підсилювачів, який показав, що стабільна добротність індуктивності, яка імітується Ю, вище в порівнянні зі стабільною добротністю індуктивності, яка імітується  $KO$ . При цьому, переваги Ю особливо виявляються на низьких та наднизьких частотах, де  $KO$  практично не використовується.

За запропонованим алгоритмом синтезу активних  $RC$ -фільтрів з використанням Ю та відомими методами синтезовані варіанти активного смугового фільтра для апаратури сільського зв'язку СІ-3.

Проведені випробування показали, що стабільність амплітудно-частотної характеристики смугового фільтра, який синтезовано з використанням Ю, вище в порівнянні зі стабільністю АЧХ фільтрів, реалізованих відомими методами.

В третьому розділі розроблені дрібні ланки другого порядку ФНЧ та ФВЧ, які імітують пасивний ланцюговий  $LC$ -прототип.

Звичайно при каскадному методі синтезу активних  $RC$ -фільтрів співмножники другого порядку передавальної функції, яка апроксимує необхідні характеристики фільтрів, з добротністю полюса  $Q_p = 5 \dots 20$  реалізуються дрібними ланками, які мають у своєму складі три операційних підсилювача, що пояснюється відсутністю схем абсолютно-стабільного класу, що мають два операційних підсилювача. Приведено формули

для розрахунку елемента цих ланок за коефіцієнтами передавальної функції. Запропоновано набір активних ланок ФНЧ і ФВЧ на одному, двох та трьох операційних підсилювачах для синтезу високочастотних стабільних фільтрів.

В зв'язку з тим, що недоліки активних RC-фільтрів, до яких пред'явлено жорсткі вимоги щодо виборності характеристики робочого ослаблення, - невеликий динамічний діапазон, недостатня стабільність характеристик та складність настройки - в значній мірі пов'язані з наявністю високодобротних полюсів в передавальній функції таких фільтрів, запропоновано чисельний метод пошуку дрібно-раціональної передавальної функції мінімального порядку з найбільшими добротностями полюсів не більше заданого значення  $Q_{max}$ .

Послідовність пошуку оптимальної дрібно-раціональної функції з максимальною добротністю полюса, яка не перевищує заданого значення, наступна.

1. Знається початкове наближення вектора шуканих змінних функції:

$$P(\bar{x}) = \max A(\omega_k, \bar{x}) - \min A(\omega_k, \bar{x}),$$

$$\omega_k \in E_n, \quad \omega_k \in E_n$$

де  $A(\omega_k, \bar{x})$  - функція робочого ослаблення;  $\bar{x}$  - вектор шуканих змінних функції (коефіцієнти квадратичних співмножників знаменника функції робочого ослаблення);  $\omega_k$  - нормована частота;  $E_n$  - дискретна множина нормованих частот з інтервалу наближення (смуги пропускання фільтру).

Як початкове наближення можна використати коефіцієнти квадрата модуля кожного з квадратичних співмножників знаменника функції робочого ослаблення, які визначено за даними довідника.

2. Знаходиться вектор змінних  $\bar{x}_0$ , який мінімізує функцію  $P(\bar{x})$  на множині допустимих значень  $G$ .

3. Знаходиться частота  $\omega_m \in E_n$ , на якій  $P(\omega_k, \bar{x}_0)$  максимальна.

4. Вектор  $\bar{x}_0$  приймається за початкове наближення  $\bar{P}(\bar{x})$ , яка мінімізується на множині  $D$ , де  $D = G \cap \mathcal{X}$ , а

$\mathcal{X} = \{ \bar{x} : \| \bar{x} - \bar{x}_0 \| \leq \varepsilon \} \quad 0 < \varepsilon < 1$ . В результаті одержимо вектор  $\bar{x}^*$ .

5. Знову мінімізуємо функцію  $F(\bar{x})$  на множині  $G$  з вектором, який є початковим наближенням. В результаті знаходимо шуканий вектор змінних  $\bar{x}_*$ .

При  $F(\bar{x}_*) - F(\bar{x}^*) < \delta$  ( $\delta$  - додатна константа, яка характеризує точність розв'язку) процедура оптимізації припиняється. В супротивному випадку послідовність повторюється з другого пункту.

Написана програма, яка реалізує наведений вище алгоритм на мові *BASIC* для персональних ЕОМ.

Четвертий розділ присвячено розробці гібридної інтегральної схеми активного смугового фільтру з багатополосним комплексним інвертором спору для апаратури сільського зв'язку СП-3.

В слоці "Пристрій індивідуальний" (ПІ) апаратури СП-3 є смуговий фільтр сигнального каналу ПФ-3, 825кГц, який виконано на аналогових навісних елементах. З метою виключення дорогих операцій настройки фільтру, скорочення списку комплектуючих виробів, кількості двостороннього гетинаксу, зменшення маси та габаритів станції, тобто зниження собівартості станції, розроблено та впроваджено в виробництво гібридну мікросхему фільтру ПФ-3, 825кГц. Цю мікросхему виконано за тонкоплівковою технологією на зготовці-підложці сіталої СТ 50-І-2-0,6 ТХО, 735, 062 ТУ.

Повний цикл випробувань мікросхеми показав доцільність застосування ПІ в апаратурі СП-3. Мікросхему впроваджено в дослідну партію апаратури СП-3 на Уфимському заводі "Промзв'язок", що підтверджено актом впровадження.

#### ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Запропоновано новий узагальнений метод синтезу активних *RC*-ланок, які мають прототип. Систематизовані можливі варіанти побудови активних *RC*-ланок по заданому *RLC*-прототипу узагальненим методом.

Проведено аналіз варіантів, який показав, що відомі способи зберігання активних *RC*-фільтрів, які імітують пасивний ланцюговий прототип, є окремими випадками розв'язків, які одержують узагальненими методами.

2. Виділено новий спосіб побудови активних *RC*-фільтрів, які імітують пасивний прототип, коли схема, що синтезується, є подібнок-зворотною вихідній з багатополосним комплексним інвертором спо-  
ру.

3. Запропоновано та проаналізовано ряд схем багатополосного комплексного інвертора опорю. Розроблено алгоритм синтезу активних  $RC$ -фільтрів, які імітують пасивний ланцюговий прототип, з багатополосним комплексним інвертором опорю.

4. Проведено порівняльний аналіз схем розробленого триполосного інвертора опорю та найбільш широко використовуваного конзертора опорю, результати якого свідчать про більш високу стабільну добротність індуктивності, яка імітується комплексним інвертором опорю, та про його особливі переваги на низьких та надвисоких частотах.

5. Розроблено активні ланки другого порядку ФЧХ та ФЧФ, які імітують ланцюговий  $LC$ -прототип, та програму апроксимації амплітудно-частотних характеристик фільтрів передавальними функціями з заданою максимальною добротністю полюса, використання яких при каскадному синтезі активних  $RC$ -фільтрів дозволяє скоротити кількість операційних підсилювачів в пристрої.

6. Результати роботи можуть бути використані при розробці гібридних інтегральних схем активних  $RC$ -фільтрів. Впровадження мікрозборки активного смугового фільтра в апаратуру зв'язку СЦ-3 дозволяє зменшити витрати висококваліфікованої праці на настройці фільтрів та масогабаритні розміри апаратури.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В ПРАЦЯХ:

1. Іваницкий А.М., Звангирова Л.Т. Имитация схемы индуктивности многополосным комплексным инвертором сопротивления // Понехоустойчивость и эффективность систем передачи информации: Сб. науч. тр. 1984. - Вып. 22. - С. 40-42.

2. Іваницкий А.М., Звангирова Л.Т. Обобщенный метод имитации  $\pm R$ ,  $\pm L$ ,  $\pm C$ -цепей / Одеск. електротехн. ін-т зв'язи ім. А.С.Попова. - Одесса, 1985. - 18 с. Дел. з ВІНИТМ 6.08.85, № 5843 - 85.

3. Звангирова Л.Т. Исследования чувствительности обобщенно-обратных, обобщенно-подобных схем / Одеск. електротехн. ін-т зв'язи ім. А.С.Попова. - Одесса, 1985. - ВУ ВІНИТМ, № 12, С. 157.

4. Іваницкий А.М., Звангирова Л.Т. Обобщенный метод синтеза активных  $RC$ -цепей, имевших прототип // Современные методы анализа и синтеза систем и устройств связи: ТУИС. - 1986. - С. 8-14.

5. Бессчетнов Ю.П., Ергиев Г.Н., Звангирова Л.Т. и др. Активный полосовой фильтр // Информ. ЛІВ ім. В. Стефаніки. - Одесса, АН України

Ав 29.046

1986. - № 86. - С. 77.

6. Ергиев Г.Н., Зизигиров  
каналы аппаратуры передачи сельской связи // Электросвязь. - 1989. -  
№ 11. - С. 48-50.

7. А.С. 1598118 СССР, МКИ Н03 Н 11/40. Имитатор П-образного  
индуктивного четырехполосника / А.М. Иванцикий, Л.Т. Зизигиров.  
- Опубл. 07.10.90, Бюл. № 37. - 6 с.

Підписано до друку 24.12.1993р. Обсяг 1,00 друк. арк.

Формат 60x84<sup>1</sup>/16. Зам. 299. Тираж 50.

Друкарня Української Державної академії зв'язку. Одеса, Старопор-  
тофранківська, 61