

Одесский государственный политехнический университет

УДК 621.372.54

На правах рукописи

*КЕЛЬБАС Дмитрий Николаевич*

**Оптимальное проектирование активных  
фильтров для систем управления и контроля.**

Специальность 05.13.05 - "Элементы и устройства  
вычислительной техники и систем управления"

**Автореферат**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Одесса 1994

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00777631 (V)

АВ 30.86

Дисертація являється рукописом.

Робота виконана на кафедрі промислової електроніки  
Одеського державного політехнічного університету.

**Научний керівник:**

академик, д. т. н., професор

Малахов Валерій Павлович

**Научний консультант:**

к. т. н., доцент

Майко Геннадій Володимирович

**Офіційні опоненти:**

д. т. н., професор

Гогунський Віктор Дмитрович

к. т. н., доцент

Богач Александр Николаевич

**Ведущая організація:**

СКБ "Молнія"

Захита состоится "26" октября 1994 г. в 14<sup>00</sup> в аудитории 115У на заседании специализированного совета К 068.19.04 по присуждению ученых степеней кандидата технических наук Одесского государственного политехнического университета по адресу:

270044, г. Одесса, пр. Шевченко 1, ОГПУ.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному выше адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "21" сентября 1994 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Учений секретарь  
спеціалізованого ради, к.т.н.

Калинос В.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы.

Характерным признаком систем управления и контроля является значительное число всевозможных информационных сигналов, поступающих от датчиков разных типов. При этом часто требуется предварительная обработка таких сигналов. Эту задачу решают с помощью частотно-избирательных устройств (фильтров), которые позволяют выделить полезный сигнал на фоне аддитивных шумов и помех. При этом предъявляются высокие требования к стабильности параметров частотно-избирательных устройств, так как она, по сути, определяет допустимые границы точности и эффективности систем управления и контроля. Использование фильтрующего устройства на входе устройства управления позволяет значительно улучшить помехоустойчивость всей системы в целом, повысить надежность ее функционирования, повысить ее метрологические характеристики.

Анализ литературных источников по активным фильтрам (АФ) показал, что среди большого числа реализаций устройств, решающих перечисленные задачи, необходимо выделить прежде всего АФ на основе активных RC-цепей (ARC-цепей). Такие цепи с ОУ в качестве активных элементов находят широкое применение в устройствах управления и контроля АСУТП, контрольно-измерительной аппаратуре, системах связи. Это связано с рабочим диапазоном таких цепей, малыми габаритами и весом, возможностью интегрального микронэлектронного исполнения, высоким КПД и низкой потребляемой мощностью, хорошими усилительными свойствами, высокими техническими характеристиками современных ОУ.

В настоящее время вопросы проектирования и применения активных RC-цепей превратились в самостоятельную область теории цепей. При этом выделяют следующие этапы проектирования: аппроксимации, структурного синтеза, параметрического синтеза, оптимизации.

Анализ литературы показал, что в настоящее время не существует законченной регулярной методики оптимального синтеза топологий (структур) активных ARC-фильтров и отсутствует общий подход к реализации таких устройств. Поэтому вопросы автоматизации и оптимизации проектирования ARC-фильтров являются актуальной задачей.

Таким образом, цель работы - разработка методов и средств оптимального проектирования частотно-избирательных устройств с целью повышения эффективности систем управления (точности, стоимости, метрологических характеристик).

**Методы исследований** базируются на теории электрических цепей, теории матриц, теории графов, комбинаторного анализа. Также используется опыт нулаторно-нораторного представления элементов. Основные теоретические положения и выводы подтверждены результатами экспериментальных исследований и расчетами на ЭВМ.

**Научную новизну** работы составляют классификация матричных эквивалентных преобразований по виду воздействия на граф пассивных элементов; способ структурной оптимизации принципиальных схем ARC-фильтров с помощью матричных эквивалентных преобразований.

**Практическую ценность** работы составляют оптимизированный алгоритм синтеза низкочувствительных цепей; алгоритм и программа структурной оптимизации принципиальных схем ARC-фильтров; новые, незапатентованные принципиальные схемы АФ.

**Реализация результатов работы.** Результаты работы в виде законченных программ использованы при выполнении госбюджетных работ "Разработка пакета прикладных программ автоматизированного проектирования аналоговых активных фильтров" №106-64 и "Развитие теории гибридного компьютерного моделирования и исследование принципов интеллектуализации средств гибридной вычислительной техники" №154-64 ("Гибрид"), применяются в учебном процессе в Одесском государственном политехническом университете в курсе "САПР устройств промэлектроники".

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано пять работ.

Материалы диссертационной работы использовались также при подготовке двух отчетов по госбюджетным научно-исследовательским работам.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции "Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях" в г. Львове в ноябре 1992 года; на научно-техническом семинаре "Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах" Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова в г. Москве в декабре 1992 г.; на научно-технической конференции "Автоматика-94" в Киевском политехническом институте в мае 1994 г.; на научно-технических семинарах профессорско-преподавательского состава кафедры "Промышленная электроника" Одесского государственного политехнического университета.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 107 наименований, приложений. Работа содержит 104 страницы основного текста, иллюстрируемого рисунками на 46 страницах.

**Выносимые на защиту положения:**

1. Способ оптимального структурного проектирования низкочувствительных АРС-цепей.
2. Способ оптимальной топологической реализации активных фильтров на основе АРС-цепей.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулированы основные задачи работы, показаны пути достижения поставленной цели, перечислены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние способов оптимизации и синтеза активных фильтров для систем управления и контроля, что необходимо для правильной оценки достижений в области теории и практики их оптимального проектирования. Проведен сравнительный обзор существующих типов фильтров, проанализированы их преимущества и недостатки, история развития. Показано, что выбранный для рассмотрения элементный базис (ОУ и R, C элементы) получил широкое распространение в аппаратуре систем управления и контроля и позволяет реализовать АФ со схемными функциями любого порядка, обладает наименьшими затратами на производство по сравнению с другими элементами.

Полученная в результате проектирования АФ схема не всегда удовлетворяет заданным характеристикам (устойчивость, чувствительность, напряжение смещения, требуемый вид АЧХ). Поэтому целесообразно проводить этап оптимизации по заданным параметрам, например, оптимизацию по виду АЧХ. Оптимизация состоит в поиске решения, наиболее полно отвечающего предъявляемым требованиям. При этом возможны два подхода. При первом синтезируется полный класс эквивалентных цепей и путем их сравнительного анализа определяется оптимальное в заданном смысле схемное решение. Этот подход предполагает использование методов топологического преобразования для получения новых схем и доказательства полноты заданного класса. При втором подходе заданное качество (например, точность) обеспечивается использованием некоторых топологических или аналитических алгоритмов (процедур) итерационного или комбинаци-

одного типа. Этот процесс может быть проделан на заключительном этапе синтеза, а также сопровождать каждый из предшествующих этапов.

В результате обзора литературных источников установлено, что в настоящее время не существует законченной методики проектирования частотно-избирательных устройств. В подавляющем большинстве случаев синтез ARC-фильтров осуществляется эвристическими или эмпирическими путями. Существующие САПР частотно-избирательных устройств способны решать лишь частные задачи проектирования: моделирование готовых принципиальных схем; создание печатных плат, документации; параметрический синтез уже известных схем АФ, и, поэтому, находят ограниченное применение на этапе оптимизации.

Например, в /Электроника. -1989. №23, с. 117-118/ утверждается: "Во многих отношениях разработка аналоговых схем значительно ближе к искусству, чем разработка цифровых схем: первый из рассматриваемых процессов *требует более развитой интуиции* и больше *эвристических методов и приемов*. Многие статистики подчеркивают весьма важную тенденцию: с одной стороны, сегодня ощущается все усиливающаяся нехватка по-настоящему квалифицированных разработчиков аналоговых схем, с другой стороны, быстрыми темпами растет количество систем - а в последнее время и специализированных ИС, в состав которых входит то или иное число аналоговых схем и блоков".

"Единственный способ обеспечить разработки таких ИС (схем ARC-цепей - прим. авт.) достаточным числом специалистов состоит в том, чтобы вооружить начинающих разработчиков аналоговых схем "разумными" и простыми в применении средствами автоматизированного проектирования".

В процессе анализа способов представления структурной схемы установлено, что для этих целей целесообразно использовать разработанную ранее матричную DNB-модель ARC-цепи. При этом было принято, что все операционные усилители являются идеальными и содержат несимметричный выход и несимметричный или дифференциальный вход. Однако, как показано в работе, нетрудно распространить полученные выводы и результаты на схемы с другими типами ИОУ.

Все вышеизложенное позволило сформулировать в конце первой главы задачи, на которых целесообразно сосредоточить внимание в работе.

Во второй главе, рассматривается способ синтеза низкочувствительных АФ, обладающих "экстремально низкой чувствительностью" схемных функций (СФ) к вариациям пассивных элементов.

Ранее предложен следующий подход к этапу структурного синтеза ARC-

фильтров: по степени полиномов в требуемой передаточной функции выбирается из числа готовых (в базе данных) или формируется матрица проводимости АФ с соответствующей размерностью и полной топологической структурой. Полная топологическая структура означает наличие всех возможных пассивных элементов в схеме. Это необходимо для возможности реализации требуемых свойств цепи при заданных ограничениях (возможность независимой настройки АФ, состав и диапазон значений элементов и т.п.).

Доказано, что если знаменатель передаточной функции по напряжению вида:

$$T(p) = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_n p^n}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n} \quad (1),$$

имеет все слагаемые  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  одного знака, то чувствительность СФ к изменению параметров элементов соответствует чувствительности схем с экстремально низкой чувствительностью.

Поэтому, для реализации низкочувствительных свойств АФ необходимо осуществить переход к матрице проводимости, главный минор которой (он же знаменатель передаточной функции) содержит слагаемые одного знака. Показано, что у матриц с полной топологической структурой главный минор может содержать слагаемые разного знака. Для получения гарантированно низкочувствительной структуры цепи необходимо удалить часть пассивных двухполюсников так, чтобы все слагаемые в знаменателе (произведения величин проводимостей и емкостей) были одного знака.

Оптимизация проектирования структурных схем АФ основана на определении элементов в матрице DNB, удаление которых приводит к появлению схем, которые в результате только перерисовки можно свести одна к другой. Такие схемы будем называть эквивалентными структурными схемами. При этом учтены варианты удаления элементов, приводящие к идентичным результатам и сокращено число перебора таких вариантов.

Условимся в дальнейшем для краткости называть кандидаты, приводящие к появлению эквивалентных между собой структурных схем, как "эквивалентные" кандидаты. Соответственно, последовательности кандидатов, приводящие к появлению эквивалентных между собой структурных схем, также будем называть "эквивалентными" последовательностями.

Была доказана следующая лемма: эквивалентные кандидаты содержат в своих строках и столбцах соответственно одинаковые по знаку или равные нулю элементы.

В соответствии с леммой модифицирован алгоритм синтеза низкочувствительных структурных схем, показанный ниже:

1. Выбор знака исключаемых элементов, например, "плюс";
2. Нахождение определителя  $\det\|1\|$  в символьном виде с учетом только знака элементов;
3. Подсчет для каждого элемента сколько раз он входит в положительные и отрицательные слагаемые соответственно
4. Если все слагаемые одного знака процесс заканчивается;
5. Удаление элементов для которых разность появлений в отрицательных и положительных слагаемых наибольшая. Среди элементов с одинаковой разностью удаляются входящие в наименьшее число положительных слагаемых (принцип "наименьшего вреда");
- 5\*. Исключение эквивалентных кандидатов;
6. Переход к п.2.

Реализация пункта 5\* приведенного алгоритма заключается в поиске на каждом цикле для текущего кандидата эквивалентных элементов. Если такие элементы обнаружены, то они исключаются из числа будущих возможных кандидатов на удаление на дальнейших этапах работы алгоритма.

Для приведенного в главе тестового примера синтеза структуры низкоустойчивого АФ оптимизированный алгоритм уменьшил время синтеза в 18 раз. В отдельных случаях экономия времени может достигать  $n!$  раз, где  $n$  - число эквивалентных кандидатов.

Третья глава посвящена вопросам структурной дискретной оптимизации схемы АРС-фильтров по заданному критерию.

На заключительном этапе проектирования АРС-цепей радиоэлектронных устройств перед разработчиком встает задача выбора из всех возможных вариантов оптимального схемного решения (задача оптимального проектирования). Однако предварительно необходимо получить все схемные варианты, способные реализовать заданные функции. При этом качество выбранного решения зависит от квалификации, опыта, а иногда, и от интуиции конструктора и очень сильно зависит от его способностей сформировать множество схемных вариантов АРС-цепи.

В главе рассмотрены методы эквивалентных преобразований, позволяющих на основе одной базовой схемы формализованно получать полный набор новых схем, эквивалентных базовой, и предложены методы

сравнительного анализа полученных схем.

Рассматриваемые комбинаторно-топологические преобразования могут использоваться для топологического синтеза новых схем, обладающих более высокими характеристиками, обхода патентных ограничений путем синтеза новых структур с одинаковыми характеристиками, синтеза патентно-чистых схемотехнических решений, выбора оптимального варианта при проектировании интегральных микросхем.

Известно, что СФ цепи, например, передаточная функция, входное и выходное сопротивление и т.п., выражаются отношением определителей и/или миноров матрицы проводимости цепи. Из матричной алгебры известно также, что определенные преобразования матрицы не изменяют абсолютного значения определителей и миноров матрицы. К таким матричным преобразованиям относится, например, перестановка столбцов в DNB матрице, соответствующих выходам ОУ. Если для матричных моделей электронных схем проводить такие преобразования, то при этом отношение определителей матрицы не изменяется, следовательно, не изменяются СФ цепи (по модулю), но изменяется матричная модель и, соответственно, топология структурной и принципиальной схемы. Возможность изменения структурной схемы при сохранении свойств цепи особенно привлекательна для обхода патентных ограничений и для синтеза новых, патентночистых схем.

Путем эквивалентных преобразований в матрице проводимости можно получить полный набор эквивалентных структурных схем. Все свойства полученных схем инвариантны к матричной модели, т.к. благодаря использованию модели идеального ОУ (ИОУ) в матрицу проводимости входят только параметры пассивных компонентов.

Оптимизация эквивалентных принципиальных схем ARC-целей основывается на неэквивалентности физически реализованных ARC-цепей. Это связано с отклонением реальных свойств ОУ от свойств модели - ИОУ.

В работе предложена следующая классификация эквивалентных преобразований принципиальной схемы АФ по результату воздействия на граф пассивных компонентов АФ:

- преобразования, которые не изменяют граф и величины пассивных компонентов;
- преобразования, которые не изменяют граф пассивных компонентов;
- преобразования, которые изменяют граф пассивных компонентов.

Для дискретной структурной оптимизации необходимо использование эквивалентных преобразований, не изменяющих параметров пассивных

компонентов. К таким преобразованиям относятся преобразования первого и третьего вида:

- перестановка определенных строк и столбцов DNB матрицы, что соответствует различным способам подключения входов и выходов ОУ;
- рассмотрение различных сочетаний подключения соединенных между собой дифференциальных входов ОУ;

Кроме того, существует возможность получения новых эквивалентных схем из DNB модели путем переобозначения инвертирующих и неинвертирующих входов ОУ. Это возможно потому, что правила восстановления схемы из DNB-матрицы не определяют тип входа ОУ. Поэтому СФ цепи не изменится при перестановке инвертирующего и неинвертирующего входов ОУ на принципиальной схеме (кроме повторителей, потому что в противном случае схема будет не работоспособна в качестве аналоговой цепи).

Каждый пункт из этого перечня вносит свою составляющую в общее число новых схем:

$$N = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3, \quad (2)$$

где  $N$  - общее число перестановок;

$N_1$  - количество всех перестановок столбцов матрицы, соответствующих выходам ОУ;

$N_2$  - общее число перестановок всех деревьев для всех блоков  $B_i$  с размерностью более двух;

$N_3$  - число комбинаций входов ОУ "инвертирующий-неинвертирующий" для всех ОУ (кроме повторителей).

Исходя из полученных результатов, получена формула, выражающая общее число эквивалентных принципиальных схем, которые могут быть получены из матрицы DNB:

$$N = (NOU + NREP) \cdot \prod_{i=0}^{K_B} (NOU_i + NREP_i + 1) (NOU_i + NREP_i - 1) \cdot 2^{NOU}, \quad (3)$$

где  $K_B$  - количество блоков  $B_i$ ,

$NOU$  - общее число ОУ второго и четвертого типа в схеме,

$NREP$  - общее число ОУ, включенных как повторители,

$NOU_i$  - число ОУ в блоке  $B_i$ ,

$NREP_i$  - число повторителей в блоке  $B_i$ , подключенных к столбцу с положительными элементами,

$i$  - номер блока  $B_i$ .

Как было показано во второй главе при синтезе АФ несомненный практический интерес представляют схемы, обладающие "экстремально

низкой чувствительностью" характеристик к изменению параметров компонентов. В связи с этим возникает задача выявления и исключения из дальнейшего анализа схем, не являющихся низкочувствительными.

Передаточную функцию по напряжению ARC-цепи можно выразить не только в виде (1), но и как отношение двух полиномов с помощью формулы Мизона для направленного графа передачи сигнала в цепи. Формула позволяет записать функцию передачи из рассмотрения контуров и путей графа. Для передаточной функции по напряжению формула имеет вид

$$T(p) = \frac{\sum (P_k D_k)}{D} \quad (4)$$

где  $D$  - определитель графа,

$P_k$  - передача  $k$ -го пути,

$D_k$  - определитель части графа, остающейся после исключения контуров, соприкасающихся с  $k$ -м путем.

Определитель графа вычисляется по формуле

$$D = 1 - \sum L_i + \sum L_i L_j - \sum L_i L_j L_k + \dots, \quad (5)$$

где  $L_i$  - передача контура  $i$ ,

$L_i L_j$  - произведения передач комбинаций по два несоприкасающихся контура,

$L_i L_j L_k$  - произведения передач комбинаций по три несоприкасающихся контура

В работе показано, что для получения низкочувствительных свойств достаточно обеспечить отрицательный знак передачи всех контуров. Для формализации поиска реализации низкочувствительной схемы в работе разработан алгоритм поиска способа подключения входов ОУ.

В диссертации предложен следующий вид целевой функции  $L$  для нахождения оптимального схемотехнического решения, для которого СФ цепи  $T(p)$  наиболее близка к требуемой (заданной) СФ  $T_0(p)$ . Целевая функция  $L$ , характеризующая степень среднеквадратичного отклонения СФ  $T(p)$  от требуемой функции  $T_0(p)$  имеет вид:

$$L = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N \frac{(T_{0i}(p) - T_i(p))^2}{T_{0i}(p)^2} \quad (6)$$

где  $N$  - число точек расчета;

$i$  - номер текущей точки расчета;

$T_i(p)$  - значение СФ модели эквивалентной цепи при текущем значении

частоты расчета;

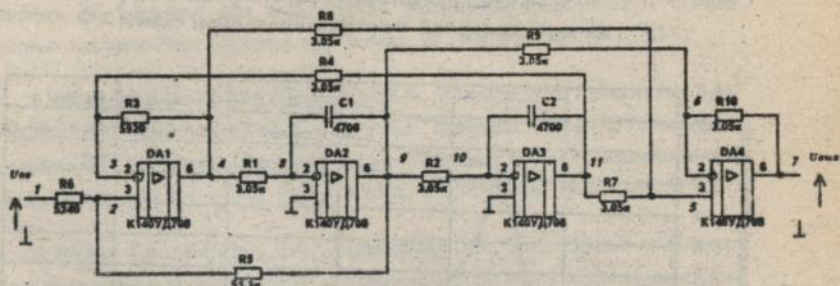
$T_0(\rho)$  - значение требуемой (заданной) СФ при текущем значении частоты расчета.

Кроме указанного критериями при отборе могут служить следующие параметры:

- Частотные характеристики: амплитудно-частотная характеристика, фазо-частотная характеристика, полное входное и выходное сопротивление;
- Динамические характеристики: переходная характеристика цепи, импульсная характеристика цепи, динамический диапазон сигнала;
- Статические характеристики: напряжение смещения нуля схемы;

В четвертой главе с целью установления практической возможности и достоверности способа структурной дискретной оптимизации АФ с помощью эквивалентных преобразований проведен анализ тестовой схемы ARC-фильтра. Для исследований была выбрана схема 2-го порядка (рис.1), матричная модель которой содержала все виды блоков (D, N и B). По заданной АЧХ рассчитаны схемные функции и параметры пассивных элементов. С помощью разработанной программы оптимизации ARC-целей **Optuner** была получена новая схема АФ (рис. 2). При этом среднеквадратичное отклонение (по формуле 6) в заданном диапазоне частот АЧХ исходной схемы от требуемой (теоретической) АЧХ составило 0.0117, а для оптимизированной цепи это отклонение равно 0.00105. Были проведены моделирование исходной схемы и схем с подключенными повторителями в среде программы моделирования PSPICE, а так же экспериментальные исследования макетов фильтров (рис.3) при температуре окружающей среды +25°C и +85°C, подтверждающие достаточную для инженерных задач точность моделирования схем АФ программой PSPICE.

Программы оптимизации ARC-целей **Optuner** написана на объектно-ориентированном языке программирования TurboC++ 1.01. Программа работает на компьютерах IBM PC AT под управлением MS DOS версии 3.0 и старше с оперативной памятью не менее 640 КБайт и при наличии математического сопроцессора. В программе автоматически используется моделировщик аналоговых схем PSPICE версии 4.03. Рекомендуется компьютер с процессором не хуже 80386/80387 с тактовой частотой не ниже 40 МГц, организацией в ОЗУ виртуального диска объемом не менее 2 Мбайт. Так, для поиска оптимального решения тестового примера время работы программы на компьютере с рекомендованными характеристиками составило 6,5 часов. Программа может модифицироваться в соответствии с требуемой целевой функцией или критериями оптимизации.



Исходная схема электрическая принципиальная АФ

рис. 1.

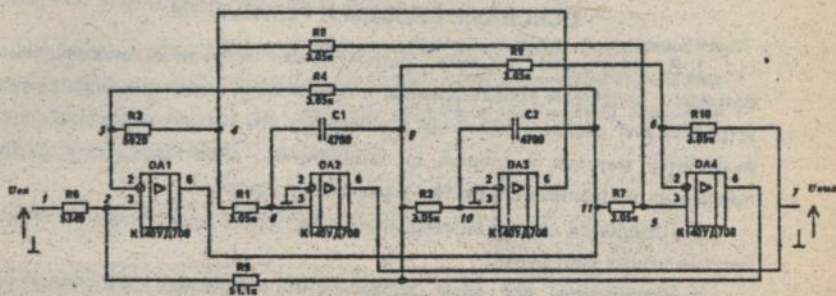


Схема электрическая принципиальная АФ оптимизированная

рис. 2.

### Графики передаточных характеристик $T(p)$ макетов исходной и оптимизированной схемы АФ

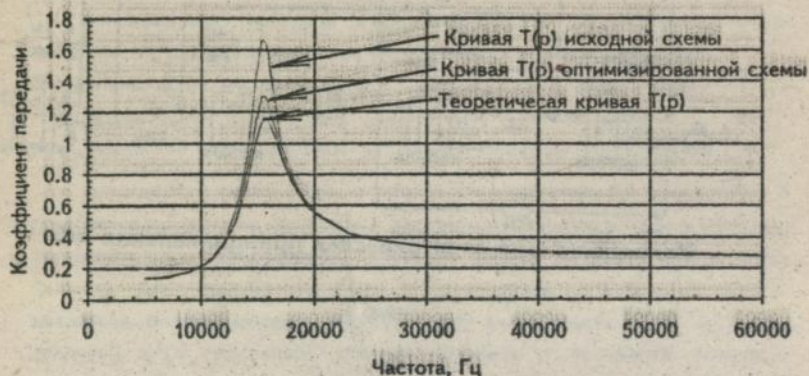


рис. 3

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В результате анализа литературных источников, посвященных методам и средствам проектирования и оптимизации частотно-избирательных устройств для систем управления установлено, что необходимо осуществить разработку методов и средств их оптимального проектирования с целью повышения эффективности систем управления и контроля.

2. Предложен способ оптимального структурного проектирования низкочувствительных АРС-цепей.

3. Рассмотрены все виды эквивалентных матричных преобразований матрицы проводимости АРС-цепи с целью получения эквивалентных структурных/принципиальных схем.

4. Предложена классификация эквивалентных матричных преобразований по виду воздействия на граф пассивных элементов.

5. Разработан способ оптимальной топологической реализации АФ на основе АРС-цепей с помощью эквивалентных матричных преобразований.

6. Разработана инженерная методика автоматической структурной дискретной оптимизации АФ в виде программы для IBM PC AT, позволяющая получать неизвестные ранее схемы и обходить патентные ограничения.

7. Получены новые, патентночистые принципиальные схемы АРС-фильтров.

**ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ  
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

1. Малахов В.П., Майко Г.В., Кельбас Д.Н. Оптимальное проектирование активных RC-фильтров для акустической аппаратуры//Акустика и ультразвуковая техника: Респ. межвед. научн.-техн. сб. -1992 г.-Вып. 27-С.50-52

2. Малахов В.П., Майко Г.В., Клик Ю.А., Кельбас Д.Н. Применение матричных моделей в структурном синтезе активных цепей//Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях: Тез. докл. научн.-техн. конф., Львов, ноябрь 1992г.-Львов, 1992.-С.38-39

3. Майко Г.В., Кельбас Д.Н., Мартыненко В.В. Оптимальное проектирование фильтров в измерительных устройствах//Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах: Мат. докл. научн.-техн. семинара, Москва, дек. 1992 г.-М.: Рос. научн.-техн. об-во радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 1992.-С97-102

4. Кельбас Д.Н. Оптимальное проектирование активных фильтров для систем автоматики и телемеханики// Автоматика-94: Тез. докл. научн.-техн. конф., май 1994 г.-Киев, КПИ, 1994.-С.270

5. Малахов В.П., Ситников В.С., Кельбас Д.Н., Майко Г.В. Применение ЦАП в гибридных вычислительных системах как управляющего и задающего элемента/Одес. политехн. ун-т.-Одесса, 1994.- 9 с.-Библиогр.:2 назв.-Деп. в ГНТБ Украины, №778-Ук94

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

*Примечание:*

*Указанные на стр. 4 гос.бюджетные работы №1 06-64 и №1 54-64 имеют номера гос. регистрации соответственно №01 930027490 и №01 930035060.*

## АННОТАЦИЯ

Кельбас Д.Н. Оптимальное проектирование активных фильтров для систем управления и контроля.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, Одесский государственный политехнический университет, Одесса, 1994

Диссертационная работа посвящена теоретическим исследованиям в области оптимального синтеза активных фильтров. Предложен способ оптимального структурного синтеза низкочувствительных ARC-цепей. Разработан способ оптимальной топологической реализации активных фильтров с помощью эквивалентных матричных преобразований и соответствующая ему инженерная методика. Получены новые, патентно-чистые принципиальные схемы ARC-фильтров.

Kelbas D.N. Optimal designing of active filters for control and checking systems.

Dissertation of technical science magister on speciality 05.13.05 "Parts and devices of computer's equipment and control systems", Odessa state politechnic university, Odessa, 1994

Dissertation's work dedicated the theoretical research in arrea of active filters optimal design. The way of optimal structure elaboration low sensitive ARC-chains was offered. The optimal topology realization method of active filters was produced using equal matrix transformations. The corresponding engeneering method was worked out. The new non patented ARC-filter circuits was obtained.

