

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи

МОХАМЕД ШАРАФ ЭЛЬ-ДИН

УДК 629.735.05:681.3.06.
001.57(043.3)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАКСПТИКИ ДЛЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ
И РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПЭВМ

Специальность 05.13.01.- Управление в технических
системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев -1993

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00814507 (P)

76 26 907
Работа выполнена на кафедре вычислительных машин, систем и сетей Киевского института инженеров гражданской авиации

Научный руководитель : доктор технических наук,
профессор Нагорный Л. Я.

Официальные оппоненты : 1 доктор технических наук,
профессор Игнатов В. А.

2 кандидат технических наук
Черноус М. Ф.

Ведущая организация - указана в решении Совета

Автореферат разослан " " 1992г.

Защита состоится " 27 " января 1993г. в 14.30. часов
на заседании специализированного совета К. 072. 04. 02 в
Киевском институте гражданской авиации по адресу: 252058
г. Киев-58, ГСП, проспект космонавта Комарова, 1, КИИГА,
корпус № 9, ауд. 9.308

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КИИГА.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
доцент

ВАСКАКОВА А. П.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
ЗНУРС

Актуальность проблемы :

Производство и эксплуатация сложных систем управления (СУ), применяемых в гражданской авиации, привели к необходимости применения новых компьютерных технологий в области проектирования и моделирования таких систем. Методология научных исследований в этой области базируется на широком применении математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Одной из основных задач проектирования и моделирования сложных СУ является задача обеспечения стабильности характеристик основных параметров, а также повышения точности и достоверности результатов моделирования элементов и устройств СУ. Значительным стимулом в разработке новых методов и алгоритмов проектирования и моделирования элементов и устройств сложных СУ является широкое применение персональных ЭВМ (ПЭВМ), которые экономически более выгодные по сравнению с универсальными ЭВМ. Однако ПЭВМ обладает более низким быстродействием и как правило, имеют ограниченную оперативную память. В связи с этим возникает необходимость в разработке более эффективных методов и алгоритмов моделирования сложных СУ. Решение этой проблемы является актуальной задачей, что и обусловило выбор темы диссертации.

Целью диссертационной работы является :

разработка методов и алгоритмов моделирования на ПЭВМ электронных схем, элементов и устройств СУ большой сложности на основе диакоптических методов, а также построения алгоритмов распараллеливания решения систем уравне-

ний с разреженными матрицами коэффициентов для реализации их на многопроцессорных вычислительных системах (ВМС) или локальной сети ПЭВМ.

Для достижения указанной цели были поставлены, формализованы и решены следующие задачи:

- исследованы способы построения математических моделей элементов, схем и устройств СУ, в виде подсистем уравнений, удобных для применения ПЭВМ;
- разработаны и исследованы алгоритмы прямых методов решения уравнений для элементов, схем и устройств СУ получаемых с использованием принципа декомпозиции;
- разработаны и исследованы алгоритмы решения на ПЭВМ линейных и нелинейных уравнений, описывающих работу сложных схем и систем управления;
- экспериментально исследованы предложенные алгоритмы с помощью комплекса разработанных программ моделирования;
- разработаны практические рекомендации и внедрены полученные результаты в учебном процессе.

Методы исследования :-

При разработке и исследовании поставленных задач используются основные положения теории систем управления, методы вычислительной математики и численного анализа. Проведен сравнительный анализ предлагаемых алгоритмов, оценка их вычислительной эффективности выполняются методом цифрового имитационного моделирования.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- предложены способы построения математических моделей элементов и устройств СУ на основе диакоптического подхода к исследованию сложных систем;
- проведены исследования алгоритмов прямых методов решения

уравнений элементов и устройств СУ с использованием принципа декомпозиции ;

- предложены алгоритмы решения подсистем линейных и нелинейных уравнений сложных схем , элементов и устройств СУ ;
- разработаны формализованная методика расчета частотно-фазовых характеристик по матрице схемных функций , сформированной на основании уравнения состояния моделируемого устройства систем управления ;
- проведены исследования , основанные на функциональном анализе систем автоматического управления полетом самолета и разработан алгоритмы решения системы уравнений на основе метода декомпозиции ;
- предложены параллельно-последовательные алгоритмы решения СЛАУ с разреженными матрицами при моделировании на ПЭВМ элементов и устройств СУ ;
- предложенные методы и алгоритмы позволяют в значительной степени сократить вычислительные затраты при реализации программного обеспечения моделирования сложных схем и систем на ПЭВМ и , особенно , на локальной сети ПЭВМ с обеспечением достаточно высокой точности моделирования .

Практическая ценность работы заключается в разработке и внедрении методик, алгоритмов и программ моделирования электронных схем и систем , элементов и устройств СУ на основе диакоптических методов и реализации программного обеспечения на ПЭВМ и локальной сети ПЭВМ .

Разработаны и внедрены в учебном процесс КИИГА методика и программное обеспечение диалогового режима моделирования на ПЭВМ элементов и устройств систем автоматического регулирования .

Публикация работ : по теме диссертации опубликовано две статьи

Объем и структура диссертационной работы : диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 141 страницах машинописного текста, и включает список литературы на 147 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении выполнен критический анализ существующих методов моделирования электронных схем, элементов и устройств СУ, описываемых системами уравнений большой размерности и сформулирована цель работы.

Первая глава включает три параграфа и посвящена вопросам формирования математической модели электронных схем СУ на основе развернутой и канонической матриц гибридных параметров, при делении сложных схем на подсхемы.

Применение в методе гибридных параметров неоднородного координатного базиса позволило использовать широкий класс моделей компонентов и подсхем и не накладывать каких-либо ограничений на их параметры. Кроме того, метод гибридных параметров позволяет сравнительно просто осуществить переход к моделированию схем в однородном координатном базисе (метод узловых напряжений и метод контурных токов).

В этой главе рассмотрены вопросы разбиения сложных схем (систем) на подсхемы (подсистемы), для случая, когда подсхема (подсистема) представлена в виде многополюсника, четырехполюсника или представлена в виде двухполюсных RLC компонентов. При этом математическая модель сложной схемы СУ записывается в виде системы уравнений с блочно-диагональной матри-

цей с окаймлением (БДМО)

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline H_1 & & \dots & & \Phi_1 \\ \hline & & & & \\ \hline & H_2 & \dots & & \Phi_2 \\ \hline & & & & \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline & & & & \\ \hline & & & H_N & \Phi_N \\ \hline & & & & \\ \hline \textcircled{H}_1 & \textcircled{H}_2 & \dots & \textcircled{H}_N & W_c \\ \hline & & & & \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline X_1 \\ \hline X_2 \\ \hline \dots \\ \hline X_N \\ \hline X_c \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline Q_1 \\ \hline Q_2 \\ \hline \dots \\ \hline Q_N \\ \hline Q_c \\ \hline \end{array} ;$$

где H_i -квадратная подматрица коэффициентов i -й подсистемы уравнений размером $n_i \times n_i$, расположенная на главной диагонали матрицы ; X_i, Q_i -подвекторы искоемых неизвестных переменных и правых частей i -й подсистемы размером $n_i \times 1$ каждый ; $\textcircled{H}_i; \Phi_i$ - i -прямоугольные подматрицы, размером $n_i \times n_c$; $n_c \times n_i$ соответственно; W_c -подматрица связи размером $n_c \times n_c$, X_c, Q_c -подвекторы неизвестных переменных и правых частей подматрицы связи .

Решение такой математической модели большой размерности можно осуществить последовательно на однопроцессорной ЭВМ (ПЭВМ), либо применить параллельные вычисления методами линейной алгебры на N -процессорной вычислительной структуре или локальной сети ПЭВМ .

Рассмотрены вопросы решения систем линейных алгебраических уравнений с блочно-диагональной матрицей с окаймлением (БДМО), методом обращения подматриц и методом Гаусса, приведена приближенная оценка эффективности этих алгоритмов .

Вторая глава включает три параграфа и посвящена исследованию нелинейных электронных схем элементов и устройств С У

описываемых системами большой размерности, на основе применения декомпозиционного метода. Рассматриваются вопросы моделирования объектов с сосредоточенными параметрами в статическом режиме. Математическое описание такого рода объектов выполняется с помощью систем нелинейных алгебраических уравнений, которые путем линеаризации и алгебраизации сводятся к системам линейных уравнений, решаемых на каждом этапе итерационного процесса.

Рассмотрены декомпозиционные алгоритмы решения систем нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ), имеющих разреженную матрицу Якоби. Решение базируется на метода Ньютона и его модификациях. Обсуждены вопросы сходимости решения. Приводится решение линеаризованной системы нелинейных алгебраических уравнений большой размерности методом LU-разложения на основе декомпозиционного метода с выделением линейной и нелинейной части сложной электронной нелинейной схемы. Такое построение алгоритма при решении (СНАУ) на ЭВМ позволяет учитывать пересчет на каждом шаге итерации только части переменных исходной системы уравнений, что повышает эффективность организации вычислительного процесса.

В третьей главе которая включает три параграфа, рассматриваются методы исследования линейных динамических схем и систем, элементов и устройств С У на основе уравнения состояний и декомпозиционных методов, позволяющих определить матрицы схемных функций и выполнить анализ сложных схем и систем в частотной и временной областях. Для определения частотных и временных характеристик сложной схемы или системы при моделировании на ЭВМ представляет интерес получение результата решения системы уравнений состояния в численно-символической форме, изображенной в виде отношения полиномов от комплексной

переменной p . При этом необходимо обращать матрицу $A(p) = pI - A$, где I - единичная матрица порядка n . Получить достаточно высокую точность обращения $A(p)$ на ПЭВМ или ЭВМ на основе применения известных методов можно только в том случае, если матрицы $A(p)$ будут иметь невысокий порядок (не выше 6-9). В связи с этим при решении систем уравнений, у которых матрица имеет большую размерность, возникает необходимость в декомпозиции решения системы уравнения состояния таким образом, чтобы обращать не всю матрицу $A(p)$ порядка n , ($n \ll n$). При этом исходная система уравнений запишется в виде СЛАУ с БДМО

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|}
 \hline
 | pI_1 - A_1 | & \dots & | \Phi_1(p) | & | X_1(p) | & | Q_1(p) | & \\
 \hline
 | \dots & | \dots & | & | \dots & | \dots & \\
 \hline
 | & | & | pI_m - A_m | & | \Phi_m(p) | & | X_m(p) | & | Q_m(p) | \\
 \hline
 | \textcircled{H}_1(p) | & | \textcircled{H}_m(p) | & | Wc(p) | & | Xc(p) | & | Qc(p) | & \\
 \hline
 \end{array} ;$$

где I - единичная матрица размера n_i , $X_i(p)$ - подвекторы переменных состояния; $Q_i(p)$ - подвекторы источников внешних воздействий; $Xc(p)$ - подвектор переменных связи; $Qc(p)$ - подвектор источников внешних воздействий связи.

Разработан и приведен алгоритм решения этой системы уравнений относительно подвекторов неизвестных $X(p)$ путем обращения полиномиальной матрицы. Кроме того, приведена укрупненная блок-схема блочного распараллеливания процесса обращения полиномиальной блочно-диагональной матрицы с окаймлением. Этот процесс сводится к выполнению параллельно-последователь-

ных операций на N - процессорах или локальной сети ЭЭМ, состоящей из N ЭЭМ.

Основными этапами получения обратной матрицы $M(p)$ являются вычисления обратных полиномиальных подматриц $H_i(p) = (pI_i - A_i)$, $(i=1, \overline{N})$ и $Kc(p)$. Разработана процедура обращения этих подматриц на ЭЭМ.

Четвертая глава включает три параграфа и посвящена вопросам моделирования нелинейных схем, элементов и устройств СУ в динамическом режиме. При этом динамическая цепь представляется в виде системы адьюбиро-дифференциальных уравнений, которая путем линеаризации и алгебраизации сводится к системе линейных уравнений (СЛУ) в момент времени t_{i+1} . Математические модели в этом случае, как правило, имеют большие размерности и разреженные матрицы коэффициентов. Поэтому для реализации этих алгоритмов на ЭЭМ в работе используется декомпозиционный метод, который позволяет СЛУ представить в виде системы уравнений с БДМО

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{к} & & & \text{к} \\ \hline \text{J}_{1, n+1} & \dots & & \text{Ф}_{1, n+1} \\ \hline \dots & \dots & & \dots \\ \hline \dots & \dots & \text{к} & \text{к} \\ \hline & & \text{J}_{N, n+1} & \text{Ф}_{N, n+1} \\ \hline \dots & \dots & \text{к} & \text{к} \\ \hline \text{H}_{1, n+1} & & \text{H}_{N, n+1} & \text{W}_{c, n+1} \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline \text{к} \\ \hline \text{ДХ}_{1, n+1} \\ \hline \dots \\ \hline \text{к} \\ \hline \text{ДХ}_{N, n+1} \\ \hline \dots \\ \hline \text{к} \\ \hline \text{ДХ}_{c, n+1} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{к} \\ \hline \text{Q}_{1, n+1} \\ \hline \dots \\ \hline \text{к} \\ \hline \text{Q}_{N, n+1} \\ \hline \dots \\ \hline \text{к} \\ \hline \text{Q}_{c, n+1} \\ \hline \end{array}$$

Такое представление СЛУ позволяет решать ее последовательно

по частям на однопроцессорной ЭВМ (ПЭВМ), осуществить распараллеливание, реализовав эти алгоритмы на МВС или локальной сети ПЭВМ.

Применение декомпозиционного метода разбиения схемы на подсхемы или сложной системы на подсистемы имеет существенное преимущество в процедуре вычисления матрицы Якоби в методе Ньютона и его модификаций. Кроме того, это позволяет выполнить неявное интегрирование при решении системы нелинейных дифференциальных уравнений на ПЭВМ. Критерием решения является достижение необходимой точности с минимальными затратами машинного времени.

Пятая глава состоит из трех параграфов и посвящена вопросам практической реализации вычислительных процессов на основе предложенных методов и алгоритмов моделирования и расчета элементов, схем и устройств С У. Приведен комплекс программ моделирования линейных и нелинейных схем в статическом и динамическом режимах. Программы написаны на алгоритмическом языке Турбо Бейсик для ПЭВМ, совместимые с IBM PC. Программы выполнены в виде отдельных модулей, работа каждого из них не зависит от работы остальных модулей, что позволяет проводить их модификацию и дальнейшее развитие и замену любого программного модуля.

Разработаны алгоритмы организации иерархических процедур решения, позволяющие минимизировать вычислительные затраты, на основе проведенных в диссертации теоретических методик моделирования элементов, схем и систем. Разработаны критерии оценки эффективности вычислительных процессов решения системы управления полетом самолета с ВДМО, полученный путем переупорядочения строк и столбцов и в результате использования операции

развертывания. На рис 1 приведен график зависимости оценки вычислительных затрат от изменения числа подсистем. Был созданы подпрограммы SEC-1, ITER-1 и др., реализующие методы решения СЛАУ, СНАУ и расчет частотных и временных характеристик.

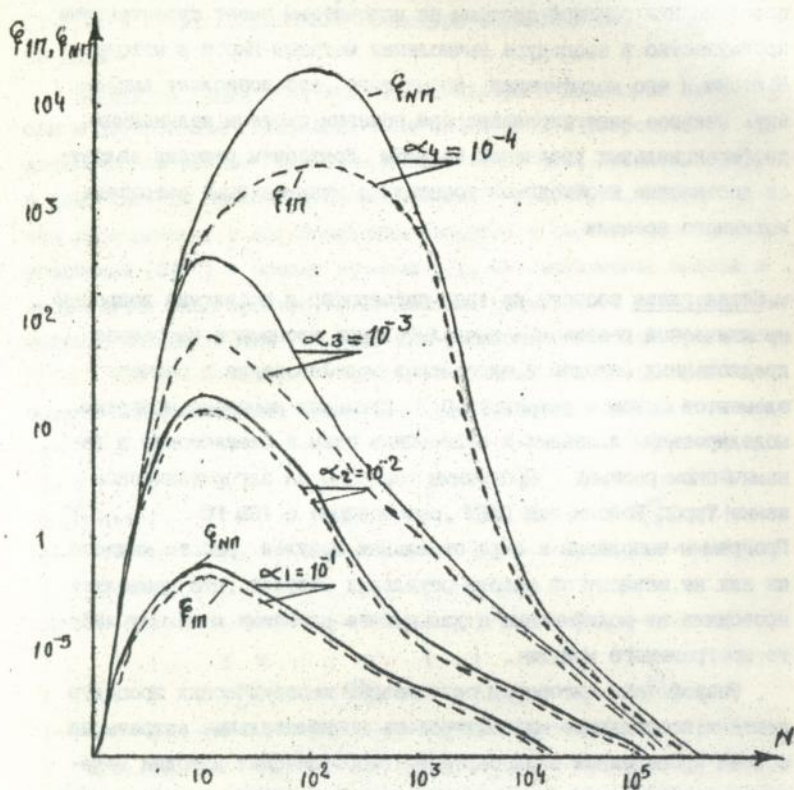


Рис. 1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

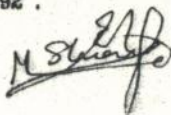
Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем :

- предложены способы построения математических моделей элементов , схем и устройств , на основе диакоптического подхода к исследованию сложных систем ;
- проведены исследования , основанные на функциональном анализе систем автоматического управления полетом самолета и разработан алгоритм решения уравнений динамики полета на основе метода декомпозиции ;
- разработаны и исследованы алгоритмы решения линейных и нелинейных уравнений , описывающих работу сложных схем и систем управления ;
- разработана формализованная методика определения на основе уравнения состояния матрицы схемных функций для расчета частотных и временных характеристик элементов , схем и устройств систем управления ;
- выполнен сравнительный анализ предлагаемых алгоритмов и оценка вычислительной эффективности методом цифрового имитационного моделирования ;
- предложенные методы и алгоритмы позволяют в значительной степени сократить вычислительные затраты при реализации программного обеспечения моделирования сложных схем и систем на ЭВМ , особенно на локальной сети ЭВМ с обеспечением достаточно высокой точности моделирования ;
- выполнены экспериментальные исследования предложенных алгоритмов с помощью комплекса разработанных автором программ моделирования , которые показали высокую эффектив-

ность предлагаемых способов построения математических моделей и алгоритмов решения линейных и нелинейных уравнений.

По теме диссертации опубликованы следующие работы :

1. Мохамед Шараф Эль-дин. Диакоптический анализ линейных схем в частотной области // В кн.: Тезисы докладов научно-техническая конференция. Киев КИИГА 1991. с 33-34 .
2. Мохамед Шараф Эль-дин. Применение метода диакоптики для повышения эффективности решения систем управления // В кн.: тезисы докладов на республиканском семинаре "Новые информационные технологии и инструментально-технологические средства принятия решения ." - Казивели ,1992 .



Handwritten signature or stamp

Подписано в печать 28.12.92. Формат 60x84/16. Бумага типографская.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 0,93, Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.
Заказ № 218-І. Цена 162р 72 коп. . Изд. № 368/Ш.

Издательство КНИГА.....

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, І.

469843

AB 26.407

AB 26.407