

М 497895

Государственный комитет СССР по народному образованию

МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

НИГАЙ Руслан Михайлович

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ
СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Специальность 05.13.01 - Управление в технических системах

1
Линг

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1991

Работа выполнена на кафедре "Системы автоматического управления"
МГТУ им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
МАЛАХОВ Н.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ЕГУПОВ Н.Д.

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ПЕРЕГУД М.И.

Ведущая организация - НИИ ТП

г. в 14 30
вета Д053.15.01
07005, Москва, В-5,
31-93, 287-31-86.

енной печатью,
осу.

в библиотеке

91 г.

 ПЛОТНИКОВ В.Н.

Ш 497895

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы обусловлена следующими обстоятельствами:

во-первых, автоматизация научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ является одним из основных путей повышения эффективности научных исследований и ускоренного внедрения их результатов в производство;

во-вторых, в связи со все возрастающими сложностью и требованиями, предъявляемыми к техническим объектам, возрастает доля прецизионных объектов, для которых присущи высокие требования по метрологии измерений, высокий порядок математических моделей, описывающих их динамику, необходимость использования для исследования и моделирования средств вычислительной техники последних разработок;

в-третьих, бурное развитие видеотехники в настоящее время ставит ряд задач по разработке средств для проведения исследовательских и проектно-конструкторских работ по созданию перспективных образцов техники и приборов в этой области.

Цель работы состоит в разработке технического, методического, алгоритмического и программного обеспечения программно-аппаратного комплекса для исследования и моделирования прецизионных систем стабилизации.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи используются теория электромеханических и электронных систем, разделы теории вычислительной математики, и дифференциальных уравнений, а также методы теории автоматического управления, с привлечением аппарата линейной алгебры, математического программирования, теории функций комплексного переменного и теории матриц.

Научная новизна. В диссертационной работе предложен численно-аналитический метод моделирования прецизионных динамических систем на основе интерактивной процедуры поиска корней характеристического полинома системы. Для метода разработаны методическое и математическое обеспечение.

Для проведения метрологических исследований прецизионных систем разработано быстродействующее устройство сопряжения ЦВМ с объектом (УСО), включающее блоки аналого-цифрового преобразо-



вания (АЦП), цифро-аналогового преобразования (ЦАП) и таймеров.

Для моделирования прецизионных динамических систем при типовом воздействии – синусоида, экспонента, полином и их линейная комбинация построен алгоритм для получения аналитического решения с точностью разрядной сетки ЭВМ.

Практическая ценность. Предложенный в работе программно – аппаратный комплекс для исследования и моделирования прецизионных задач стабилизации, реализован как двухуровневый на базе ПЭВМ ДВК-3 и ПЭВМ типа IBM PC с использованием быстродействующего УСО. Программное обеспечение комплекса работает под управлением ОС RT11SJ (UCL) V05.01 и MS-DOS.

Использование программно-аппаратного комплекса позволяет проводить метрологические исследования прецизионных систем, обработку измеренных сигналов, строить переходные процессы, имеющие место при их функционировании, выводить инициирующие сигналы. Подобные задачи являются характерными при разработке систем регулирования техническими объектами и технологическими процессами в таких отраслях народного хозяйства как электронная промышленность, электромеханическое приборостроение, энергетика, транспорт, видеотехника.

Достоинствами предложенного комплекса являются его высокоточное УСО и математическое обеспечение, позволяющие проводить метрологические исследования и моделирование прецизионных систем стабилизации. Его использование дает возможность учета как медленных, так и быстрых составляющих переходного процесса имеющего место при функционировании подобных систем.

Реализация результатов работы. Диссертация выполнена в рамках НИР "Модуль" и НИОКР "Виконт", проводимых на кафедре "Системы автоматического управления" МГТУ им. Н.Э.Баумана, а также в ВМТК "Ритм" и НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э.Баумана в области создания цифровых систем автоматического регулирования и метрологического обеспечения лентопротяжных механизмов (ЛМ) для перспективных моделей бытовых видеомagneтофонов (ВМ). Результаты диссертации внедрены в СКБТ "Видео" (г.Саратов) и используются при разработке систем перспективного видеомagneтофона, что подтверждается соответствующим актом.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на:

- Всесоюзной научно-технической конференции "Контроль и управление в современном производстве" (Ереван, 1988 г.)

- Республиканской научно-практической конференции "Применение персональных компьютеров в народном хозяйстве" (Фрунзе, 1989 г.)

- IX Республиканской межвузовской научной конференции по математике и механике (Алма-Ата, 1989 г.)

- Международной молодежной научно-технической конференции "Актуальные проблемы информатики, управления, радиоэлектроники и лазерной техники" (Пушкино, Московской области, 1989 г.)

- III Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование технической базы, организации и планирования телевидения и радиовещания" (Москва, 1989 г.)

- IV Всесоюзной школе "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами" (Харьков-Туапсе, 1990 г.)

Публикации. По основным положениям диссертации опубликовано 13 печатных работ, основные из которых приведены в автореферате.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из основной части, содержащей введение, четыре главы и заключение, а также трех приложений и списка цитируемой литературы на 152 наименования. Основная часть работы изложена на 122 страницах машинописного текста и включает 33 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется основная цель и приводится краткое содержание работы.

В первой главе дается постановка задачи исследования и моделирования прецизионных систем стабилизации.

В настоящее время, усложнение технических объектов и повышение требований к ним, увеличивает долю прецизионных в общем числе систем. Это можно видеть как в традиционных областях техники, так и в сравнительно новых, таких например, как видеотехника. Особые свойства прецизионных систем - высокие требования

по метрологии измерений, высокий порядок дифференциальных уравнений, описывающих их динамику и др. создают определенные сложности при решении задачи их исследования. С другой стороны, появление новых средств вычислительной техники дают возможность решения этих проблем путем создания автоматизированных исследовательских комплексов. Подобные комплексы должны содержать в своем составе технические и программные единицы которые обеспечивали бы проведение исследования и моделирования на необходимом уровне.

При рассмотрении прецизионных систем стабилизации оказывается, что регулируемая величина объекта регулирования имеет малые отклонения относительно опорного движения, а следовательно корректно допущение о линейности законов, описывающих их движение.

В настоящее время, для решения систем линейных дифференциальных уравнений (которые являются одной из основных форм описания динамики объектов) используются различные численные методы. К наиболее известным и широко используемым методам можно отнести такие как неявные и явные методы Эйлера, Адамса, Рунг - Кутты и др. При моделировании этими методами жестких систем возникают определенные сложности. Рассмотрим их. Пусть система имеет вид:

$$\dot{x}(t) = Lx(t). \quad (1)$$

где L — диагональная матрица, а элементами диагонали являются $v_1, v_2, \dots, v_n$ являются собственные числа системы (1). Для жестких систем величина $v_{\max}/v_{\min}$ составляет 10^3 и выше порядков. Известно, что явный метод Эйлера с шагом h для системы (1) устойчив, если

$$1 - hv_i, \quad 1 < 2, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

т.е. если шаг h удовлетворяет условию

$$0 < h < 2/v_{\max}^{-1}, \quad v_{\max} = \max(|v_1|, |v_2|, \dots, |v_n|) \quad (3)$$

Интервал интегрирования T для системы (1) определяется величиной $v_{\min}^{-1} = \min(|v_1|, |v_2|, \dots, |v_n|)$ и обычно равен $T = (5 \div 10) v_{\min}^{-1}$.

Пусть в системе (1) полюса отличаются по величине на 4 - 5 порядков. Тогда при моделировании на отрезке $T = 10 v_{\min}^{-1}$ с шагом $h = v_{\max}^{-1}$ необходимо сделать $T/h \approx 10^5 \div 10^6$ шагов. Такое количество вычислений выполнить затруднительно даже при исполь-

зовании вычислительной техники. Необходимо отметить также, что при очень малых шагах моделирования приходится проводить большое количество операций для построения переходного процесса, в связи с чем начинает проявляться ошибка округления, обусловленная ограниченностью разрядной сетки ЭВМ. По последней причине и неявные методы не дают хорошего результата, т.к. на каждой итерации метода необходимо решать систему алгебраических уравнений.

Дж.Нейманом было показано, что при проведении 425 последовательных операций, каждая из которых усиливает ошибку на 5%, эффект от операций округления арифметических операций заполняет разрыв, равный 10^9 и образованный отношением чисел 10^{-3} и 10^{-12} .

Проведенный сравнительный анализ показал, что известные методы не обеспечивают требуемой точности для моделирования жестких динамических систем. Так, например, для $v_{max}/v_{min} = 10^3$ ошибка методов составляла: явный — 10^{-3} , неявный — 10^{-10} , Рунге-Кутты — 10^{-4} (при шаге 0.01). При $v_{max}/v_{min} = 10^4$, с тем же шагом, явный метод стал неустойчив, а ошибка методов возросла: для неявного — 10^{-1} , а для Рунге-Кутты — 10^{-2} . Такие точности уже не приемлемы для корректной оценки динамики процессов. Поэтому, часть диссертационной работы посвящена разработке численно-аналитического метода и алгоритмов решения (моделирования) систем жестких дифференциальных уравнений. Кроме того, для исследования, тестирования и отладки прецизионных электромеханических систем регулирования необходимы автоматизированные лабораторно-исследовательские комплексы, использующие современные средства вычислительной техники. В связи с этим, в работе решается задача создания и использования подобного исследовательского комплекса.

Вторая глава работы посвящена описанию метода моделирования прецизионных динамических систем. Он последовательно использует операции определения корней характеристического полинома системы и построения по ним аналитического решения.

До настоящего времени, в вычислительной математике подобный подход не получил широкого распространения по различным причинам и, в частности в связи со сложностью процедуры определения собственных чисел матрицы системы. Проведенные исследования показали, что указанная проблема может быть решена путем комплексирования различных способов решения алгебраических ура-

внений. А это позволяет за счет использования несколько уложенной, но надежной методики получать аналитические выражения для реакции системы на типовые воздействия, или же явные выражения для этих реакций, содержащие квадратуру первого порядка.

Один из возможных способов моделирования жестких систем — получение решений дифференциального уравнения при помощи элементарных функций и запись его в аналитическом (формальном) виде или в виде квадратуры первого порядка. Такой подход возможен для линейных систем с сосредоточенными параметрами.

Аналитический вид решения определяет ряд преимуществ этого подхода. К основным можно отнести следующие: в решении учитываются все составляющие движения (как быстрые так и медленные), что особенно важно при моделировании жестких систем, обеспечивается возможность получения решения с точностью разрядной сетки ЭВМ для любого момента времени, а также полная алгоритмическая независимость от решения в предыдущей точке, отсутствие итерационности, возможность предварительной оценки характера переходного процесса по виду корней. Все вышеперечисленное позволяет говорить об актуальности разработки подобных методов моделирования систем.

Рассмотрим динамическую систему в классе линейных стационарных систем, заданную в пространстве состояний:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad x \in R_n, \quad u \in R_m, \quad x(t_0) = x_0; \quad (4)$$

Матрицы A и B — соответственно $n \times n$ и $n \times m$ постоянные матрицы.

Известно, что ее реакция в произвольный момент времени $t \in [t_0, T]$ может быть выражена формулой Коши:

$$x(t) = X(t)X^{-1}(t_0)x_0 + X(t) \int_{t_0}^t X^{-1}(w)Bu(w)dw, \quad (5)$$

где $x_0 = x(t_0)$ — начальное значение вектора состояния системы, а $X(t)$ — фундаментальная матрица, т.е. решение однородного матричного уравнения: $\dot{X} = AX$. (6)

Основная трудность использования для моделирования системы соотношения (5) заключается в отыскании матрицы $X(t)$. Часто для ее приближенного представления используется известный степенной ряд (матрицант), либо аппроксимация рядом Паде. Однако, для целей прецизионного моделирования, такие приемы оказываются неприемлемыми. Поэтому в настоящей работе предлагается производить "точное" аналитическое определение матрицы $X(t)$, используя ее связь с корнями характеристического уравнения системы (4).

Как известно, путем подстановки $x = Sy$ с постоянной матрицей S система (4) может быть приведена к виду:

$$\dot{y} = \tilde{A}y + \tilde{B}u, \quad (7)$$

где $\tilde{A} = S^{-1}AS$, $\tilde{B} = S^{-1}B$, причем матрица $\tilde{A}$ преобразованной системы имеет так называемую форму Фробениуса.

Разыскиваемая фундаментальная матрица $X(t)$ системы (4) выражается очевидным образом $X(t) = SY(t)$ через фундаментальную матрицу $Y(t)$. Столбцы матрицы $Y(t)$ могут быть записаны через решения соответствующей скалярной системы

$$z^{(n)} = a_n z^{(n-1)} + a_{n-1} z^{(n-2)} + \dots + a_2 z^{(2)} + a_1 z, \quad (8)$$

$$y_1 = z(t), y_2 = \dot{z}(t), \dots, y_n = z^{(n-1)}(t).$$

Система фундаментальных решений уравнения (7) записывается без труда, если известны корни характеристического уравнения: $v^n - a_n v^{n-1} - \dots - a_2 v - a_1 = 0$ и их кратности.

Пусть $v_1, v_2, \dots, v_r$ — собственные числа (7), а их кратности — соответственно $k_1, k_2, \dots, k_r$, $k_1 + k_2 + \dots + k_r = n$, тогда система фундаментальных решений уравнения (8) будет иметь вид: $e^{v_1 t}, t e^{v_1 t}, t^{k_1-1} e^{v_1 t}; \dots; e^{v_r t}, t e^{v_r t}, \dots, t^{k_r-1} e^{v_r t}$. Это означает, что для получения очередного столбца фундаментальной матрицы $Y(t)$ необходимо $(n-1)$ раз последовательно продифференцировать функцию вида $t^l e^{v_i t}$, где $v_i = \text{const}$. В случае комплексного корня $v_i = g_i + jp_i$, где $g_i = \text{Re } v_i$, $p_i = \text{Im } v_i$, подлежащие последовательному дифференцированию функции будут иметь вид: $t^l e^{g_i t} \cos p_i t$; $t^l e^{g_i t} \sin p_i t$.

Фундаментальная матрица $Y(t)$ записывается как

$$Y(t) = D(t) \text{diag} \exp(v_i t). \quad (9)$$

Таким образом, $X(t) = SY(t) = SD(t) \text{diag} \exp(v_i t)$ (10) и формула (5) для определения реакции системы будет выглядеть так:

$$x(t) = SD(t) \text{diag} \exp(v_i (t - t_0)) D^{-1}(t_0) S^{-1} x_0 + \int_{t_0}^t \text{diag} \exp(-v_i w) D^{-1}(w) S^{-1} B u(w) dw, \quad (11)$$

где x_0 — вектор начального состояния, $D(t)$ — матрица $n \times n$. В случае простых корней матрица D является постоянной.

Если входное воздействие имеет типовой вид:

$$u = bt \exp(at) \begin{vmatrix} \cos(wt) \\ \sin(wt) \end{vmatrix}, \quad (12)$$

интегральная часть формулы (12) сводится к линейной комбинации

$$\int_0^x \frac{\sin(bx+c)}{\cos(bx+c)} dx =$$

$$= \frac{e}{n+1} \sum_{k=1}^{n+1} (-1)^{k-1} \frac{(n+1)n...(n-k+2) n-k+1}{(a^2 + b^2)^{k/2}} \left| \frac{\sin(bt+c+kz)}{\cos(bt+c+kz)} \right|,$$

где $z = \arcsin(-b/\sqrt{a^2 + b^2})$;

Таким образом, большинство практических случаев нахождения переходных процессов, при типовых входных воздействиях, заданных в форме синусоидального, косинусоидального, экспоненциального и полиномиального, решаются в виде аналитического выражения.

В случае наличия кратных корней и необходимости обращения функциональной матрицы $X(s) = D(s) \text{diag} \exp(v_i t)$ предложено использовать решение сопряженной системы

$$\dot{W} = -A^T W, \quad (13)$$

через фундаментальную матрицу которой определяется искомая инверсия матрицы $X(s)$.

При произвольном входном воздействии $u(t)$ реакция системы определяется выражением (11).

Методика моделирования систем указанного класса включает следующие алгоритмические модули: запись дифференциальных уравнений системы в форме пространства состояний, определение матриц подобного преобразования систем (4) и (13), определение коэффициентов характеристического многочлена, отыскание корней характеристического многочлена и их кратностей, определение фундаментальных матриц систем (4) и (13) в форме фазовой переменной, реализация итоговой формулы для $x(t)$, алгоритмизация итоговой формулы в аналитическом виде для случая типовых входных воздействий.

Интерактивная методика отыскания корней $v_1, v_2, \dots, v_n$ характеристического полинома $\Delta(x)$ использует численно - аналитическую процедуру, в которой применяется комплексирование различных итерационных способов отыскания корней - методы Ньютона, Данилевского, Хичкока и др. в сочетании с оценкой области расположения корней на комплексной плоскости и исключением найденного корня из дальнейшего поиска, а также методы линей-

ной алгебры.

Известные методы поиска корней полиномов для начала счета, как правило, используют произвольное начальное приближение к корню. Если у системы высокого порядка корни расположены далеко от начального приближения, то алгоритмы дают плохую точность, либо вообще не находят корня.

Использование начального приближения из области найденной по формуле $R = 1 + a_{\max}/a_n$, где $a_{\max}$ — наибольший по модулю коэффициент полинома, a_n — коэффициент при n -ой степени, позволило находить корни систем высокого (до 40-го) порядка с ошибкой не больше 10^{-4} .

Далее для уточнения значения корня используется процедура "покоординатного спуска". После которой ошибка нахождения корня не превышает величины 10^{-7} . Для более точного определения корня используется интерактивная процедура, начальным значением корня для которой является корень, найденный методом "покоординатного спуска". В сочетании с методом "наискорейшего спуска", интерактивная процедура позволяет находить корни с ошибкой не больше 10^{-16} .

Как показал вычислительный эксперимент, для систем с большим "разбросом" корней, разработанная интерактивная процедура по точностным показателям обладает определенными преимуществами перед известными методами поиска корней характеристических полиномов.

Методику поиска корней характеристического полинома системы можно сформировать следующим образом:

1. Задание полинома $P(x, y) = \sum_{k=0}^n a_k (x + jy)^k$;
2. Определение области расположения корней ;
3. Отыскание начального приближения к корню ;
4. Первое уточнение корня известными методами (Ньютона, Хичкока) ;
5. Выбор корня с меньшей невязкой ;
6. Второе уточнение корня (методом покоординатного спуска до $\epsilon = 10^{-7}$) ;
7. Интерактивное уточнение с визуализацией границы области до появления окружности ;
8. Уточнение методом наискорейшего спуска ;
9. Проверка корня на комплексно-сопряженность ;

10. Проверка на кратность ;
11. Отделение найденного корня (корней), запоминание коэффициентов нового полинома ;
12. Повторение п.п. 1 – 11 производится пока не будут найдены все корни ;

Алгоритм интерактивной процедуры написан на алгоритмическом языке Паскаль и используется как составная часть в пакете численно-аналитического анализа динамических систем во временной области [7]. Процедура также может быть использована в научных исследованиях автономно.

Сравнительное экспериментальное исследование точностных характеристик разработанного численно – аналитического метода моделирования было проведено на тестовых системах, с заранее известными точными решениями для различных случаев корней (действительных, комплексно-сопряженных, кратных). На этих примерах было проведено сравнение алгоритмов численно – аналитического метода с численными методами интегрирования, которые в настоящее время широко используются при моделировании систем, а также исследована точность отыскания корней.

Среди зарубежных работ в области численного интегрирования наибольший интерес вызывает работы Линберга, Крейги, Гира, и Эйле.

Для проведения сравнительного анализа был разработан пакет, содержащий исследуемые методы численного интегрирования.

Особый интерес вызывает эксперимент по определению влияния обусловленности корней на точность метода т.к. именно жесткие системы являются средством описания динамики прецизионных систем. Для исследования были взяты методы: явный, неявный, Рунге-Кутты-Мерсона, Рунге-Кутты-Фельдберга по соотношениям точности.

Результаты тестирования показали, что с возрастанием отношения v_{max} / v_{min} точность исследуемых методов падает за исключением численно – аналитического. А явный метод "расходится" даже при малых шагах.

Неявный метод, устойчивый к любому шагу расчета, дает неудовлетворительные результаты.

Численно-аналитический метод для исследуемой системы дает точное решение (с точностью разрядной сетки ЭВМ) с любым

шагом и для любого момента времени (при типовом воздействии).

В связи с вышесказанным, разработанный численно-аналитический метод целесообразнее использовать при моделировании именно прецизионных систем т.к. метод позволяет получать для них результаты с высокой точностью без ограничения на шаг просчета.

В третьей главе рассматривается техническое и программное обеспечение программно-аппаратного комплекса АВИУС для автоматизации исследования и моделирования прецизионных динамических систем.

Необходимость автоматизации процессов сбора и обработки измерительной информации, получаемой при проведении натурных экспериментов, ставит задачу создания различных лабораторно-исследовательских стендов и комплексов на базе современных ЭВМ для оперативного представления исследователям результатов испытаний и проведения модельных исследований для решения задач синтеза.

В разработанном комплексе АВИУС [3] используется двухуровневая машинная система, состоящая из ПЭВМ ДБК - 3 и ПЭВМ типа ИВ. РС/ХТ "Мазовия". ДБК 3 находится на нижнем уровне и производит операции ввода и вывода сигналов, а также их первичную обработку. "Мазовия" производит вторичную обработку сигналов и по их результатам - идентификацию и моделирование исследуемого объекта.

Связь между ПЭВМ осуществляется на уровне файлового обмена.

Связь между комплексом АВИУС и исследуемым объектом устанавливается с помощью специализированного устройства сопряжения с объектом (УСО). Разработанная плата УСО выполнена в конструктиве ДПК-3. Ниже приведены ее технические характеристики:

АЦП:

1. Количество каналов - до 16 ;
2. Разрядность - 10 ;
3. Время преобразования - 1 мкс. ;
4. Диапазон входных сигналов - ± 10 В ;
5. Входное сопротивление - не менее 100 КОм ;

Блок таймеров:

1. Количество таймеров - 3 ;

2. Точность 16 разрядов при частоте до 2 МГц ;
3. Многорежимность - индивидуальное программирование до 6 режимов ;

ЦАП:

1. Количество каналов - 4 ;
2. Разрядность - 12 ;
3. Время преобразования - 5 мкс. ;
4. Диапазон выходных сигналов - ± 5 В ;

Разработанное УСО позволяет обеспечить все основные требования по комплексу АВИУС, а также служит основой для созданного комплекса тестирования прецизионных электромеханических систем видеомагнитофонов на техническом контроле при производственных операциях сборки и настройки.

В состав комплекса входят:

1. ПЭВМ ДВК-3 ;
2. ПЭВМ типа IBM PC/XT "Мазовия" ;
3. Плата УСО ;
4. Принтер широкой печати "Robotron" CM 6329.02-M ;
5. Макет видеомагнитофона "Электроника" ВМ-12 ;
6. Генератор сигналов специальной формы (ГБ-15) ;
7. Осциллограф двухлучевой запоминающий (СБ-17) ;

Состав вышеперечисленной аппаратуры может варьироваться и меняться в зависимости от решаемой конкретной задачи.

Математическое обеспечение комплекса АВИУС, ориентированного на решение задач исследования и моделирования прецизионных динамических систем содержит следующий перечень алгоритмов и программ:

1. Программа DIFFUR предназначена для расчета коэффициентов полинома характеристической матрицы динамической системы, нахождения собственных чисел системы (по полиному) и построения переходных процессов по найденным собственным числам.
2. Программа POLROOTS производит прецизионное уточнение корней по заданному начальному значению его координат в плоскости (Re, Im), которые определяются в программе DIFFUR. Программа работает в интерактивном режиме.
3. Программа VIDEO используется для ввода сигналов в ПЭВМ с помощью УСО, их визуализацию, фильтрацию, проведение частотного анализа, обработку алгоритмами быстрого преобразо-

вания Фурье, сглаживание сигнала, масштабирование, получение твердой копии с экрана ЭВМ.

Оверлейное построение программ, используемое в архитектуре комплекса позволяет экономить оперативную память и проводить адаптацию новых программ с целью расширения функциональных возможностей комплекса.

Разработанный программно-аппаратный комплекс для автоматизации исследования и моделирования прецизионных динамических систем используется для проведения работ в области разработки перспективных образцов видеотехники.

Четвертая глава посвящена построению математической модели лентопротяжного механизма (ЛПМ) видеомagnитофона (ВМ) и получения по результатам имитационного моделирования рекомендаций по совершенствованию последнего.

Математическое описание движения магнитной ленты (МЛ) по ЛПМ ВМ сводится к задаче построения уравнений динамики колебаний положения точек МЛ. Построение математической модели производится аналитическим методом (метод Лагранжа 2-го рода) на основе анализа физико-механических процессов, имеющих место при функционировании ЛПМ, а также используя законы физики о сохранении энергии и вещества.

Уравнения Лагранжа 2-го рода имеют вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} + Q_i \quad (i=1,2,3,\dots), \quad (14)$$

где $\frac{\partial \Pi}{\partial x_i}$ — обобщенная восстанавливающая сила,

Q_i — обобщенная сила сопротивления.

Пренебрегаем массой МЛ из-за ее малости по сравнению с массами составляющих элементов ЛПМ. Также можно пренебречь взаимодействием поверхностей вращающихся элементов и МЛ, т.к. в подшипниках качения вращающихся направляющих, между движущимися поверхностями образуется тонкий слой смазки. Поэтому сопротивление вращению при рассмотрении в определенном диапазоне нагрузок и скоростей можно также считать изменяющимся пропорционально скорости движения МЛ.

Пренебрежение малыми величинами вносит некоторую погрешность в получаемые при моделировании результаты, но эта по-

грешность является допустимой по критерию точностных оценок процесса и значительно упрощает моделирование задачи на ЭВМ.

Полученные в результате моделирования результаты были проанализированы и показали что:

1. Используемый в ВМ "Электроника" ВМ-12 ЛПМ не отвечает требованиям по обеспечению точности позиционирования МЛ и видеоголовок при записи/воспроизведении сигнала.
2. Работающая в ВМ система автоматического регулирования скорости вращения ВВ не отвечает требованиям по обеспечению стабильности мгновенной скорости в зоне съема видеосигнала.
3. Попытки замены при имитационном моделировании пропорционального(штатного) регулятора на пропорционально - интегральный(ПИ) и пропорционально - интегральный - дифференциальный (ПИД) не дали положительных результатов.
4. Увеличение коэффициента усиления регулятора приводит к неустойчивости системы.
5. Наибольшие колебания мгновенной скорости МЛ отмечаются в зоне блока вращающихся головок(ВБГ), что влечет временные искажения считываемого видеосигнала.

Выводы: рекомендовать изменить кинематическую схему ЛПМ ВМ, используемую в настоящее время в ВМ "Электроника" ВМ-12. В частности, как показал вычислительный эксперимент, хорошие результаты может дать кинематическая схема пятидвигательного ЛПМ (в настоящее время используется 3-х двигательная схема с передачей вращения от двигателя к ВВ через резиновый пассик) с прямоприводным двигателем. При его использовании отклонения мгновенной скорости в зоне съема видеосигнала уменьшаются в 2.73 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработано методическое, алгоритмическое, программное и техническое обеспечение комплекса для автоматизации моделирования и исследования жестких линейных стационарных динамических систем.

В рамках диссертационных исследований получены следующие основные результаты:

1. Разработан метод моделирования, использующий информацию о корнях характеристического многочлена системы. Метод позволяет

получать переходные процессы в жестких линейных стационарных системах в аналитическом виде при типовых входных воздействиях. При произвольных входных воздействиях переходный процесс определяется в виде квадратуры на каждом шаге и обеспечивает минимальные временные затраты при моделировании.

2. Разработана процедура интерактивного поиска корней характеристического полинома системы, использующая свойства алгебраических полиномов и их корней. Процедура позволяет находить все виды корней (действительные, комплексно - сопряженные, кратные) с точностью не хуже 10^{-16} (IBM PC/XT). Процедура поддерживает разработанный метод моделирования и может работать автономно.

3. Разработана диалоговая система моделирования жестких динамических систем для ПЭВМ типа IBM PC.

4. Разработан и реализован программно-аппаратный комплекс для идентификации, моделирования и исследования прецизионных систем видеотехники.

5. Составлены математические модели звеньев ЛПМ видеоманитофона, осуществлено их моделирование и исследование, а также получены технические рекомендации по совершенствованию параметров ЛПМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малахов Н.А., Нигай Р.М. Математическое и полунатурное моделирование элементов и систем регулирования канала манитной ленты видеоманитофона // Математическое и техническое обеспечение АСУ и ТП: Тезисы докл. Всесоюз. н.-т. конф. - Ташкент, 1988. - С.81.

2. малахов Н.А., Нигай Р.М., Орымбетов М.М. Алгоритмическое и программное обеспечение идентификации и управления в системах автоматизации научных исследований // Контроль и управление в современном производстве: Тез. докл. Всес.н.-т. конф. - Ереван, 1988. - С.197.

3. Малахов Н.А., Воронов И.В., Нигай Р.М. Автоматизированный комплекс исследования, моделирования и управления на базе ПЭВМ // Применение персональных компьютеров в народном хозяйстве: Тез. докл. Респ. научно-практической конф. молодых ученых. - Фрунзе, 1989. - С.8.

4. Малахов Н.А., Нигай Р.М. Активная идентификация динамических объектов с частично измеряемым состоянием в условиях ограничения тестовых сигналов // Автоматизация исследования, проектирования и испытаний сложных технических систем: Тез. докл. Всес. н.-т. конф. - Калуга, 1989. - С.163.

5. Малахов Н.А., Нигай Р.М. Метод Лагранжа в задачах построения математических моделей прецизионных механических систем // 9-я Респ. межвузовская научная конференция по математике и механике: Тез. докл. - Алма-Ата, 1989. - С.19.

6. Малахов Н.А., Нигай Р.М. Алгоритмическое и программное обеспечение численно-аналитического анализа динамических систем во временной области // Актуальные проблемы информатики, управления, радиоэлектроники и лазерной техники: Тезисы докл. Всес. конф. НТТМ и студентов. - М., 1989. - С.5.

7. Малахов Н.А., Нигай Р.М., Ямалтдинов Э.А. Пакет прикладных программ численно-аналитического расчета линейных динамических систем // Актуальные проблемы информатики, управления, радиоэлектроники и лазерной техники: Сб. докладов и сообщений Междунар. молодежной н.-т. конф. - Пушкино, М.О., 1989. - С.169.

8. Малахов Н.А., Воронов И.В., Нигай Р.М. Техническое, алгоритмическое и программное обеспечение отенда для исследования и настройки систем автоматического регулирования видеоманитофона // Совершенствование технической базы, организации и планирования телевидения и радиовещания: Тез. докл. III Всесоюзн. н.-т. конф. - М., 1990. - С.87.

9. Малахов Н.А., Нигай Р.М. Численно - аналитический метод расчета жестких динамических систем // Системы за автоматизация на инженерния труд и научните изследвания: Сб. докладов и сообщений IV Национальной молодежной школы с международным участием. - Албена (Болгария), 1990. - С.224-227.

10. Малахов Н.А., Филимонов А.В., Нигай Р.М. Ичтерактивная процедура прецизионного поиска корней характеристических квазиполиномов динамических систем с запаздываниями // Контроль, управление и автоматизация в современном производстве: Сб. докл. и сообщений II Всесоюзн. н.-т. конф. - Минск, 1990. - С.184-185.

Авг
Заказ № 500 Объем 1 п.л., тираж 100 экз., подп. к печ. 16.05.91
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана