

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Ц8412
К-523

8/12-75
11 - 8888

Н.Г.Клюкин

3396/2-75

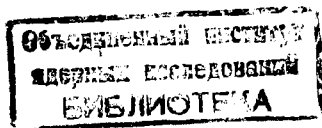
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭВМ
В ДИАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ

1975

11 - 8888

Н.Г.Клюкин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭВМ
В ДИАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ



Рост требований к проектируемым схемам и системам, а также развитие средств и методов вычислительной техники ведут к более широкому использованию цифровых ЭВМ в инженерном проектировании.

Работа посвящена проектированию стационарных линейных динамических систем в режиме диалога человека с машиной.

Под проектированием здесь понимается определение структуры и значений параметров системы, удовлетворяющих поставленным требованиям.

Проектирование в реальном масштабе времени

Как правило, процесс проектирования систем, в частности систем автоматического регулирования, носит итерационный характер, требует выполнения трудоемких расчетных, графических операций и логических выводов опытного инженера. В тех случаях, когда возможна реализация модели на ЭВМ, а предъявляемые требования разнообразны, противоречивы и трудно формализуемы, проектирование эффективно может быть выполнено при взаимодействии с ЭВМ в реальном масштабе времени. При этом вся рутинная работа выполняется машиной с графическими устройствами ввода-вывода, а проектировщик определяет стратегию проектирования и выбирает варианты. Имея возможность общаться с ЭВМ на привычном для себя языке схем и графиков и располагая средствами оперативного внесения изменений в исследуемую систему, проектировщик может за короткий срок

проанализировать возникающие у него идеи и практически осуществить метод проб и ошибок.

Важная особенность такого взаимодействия человека с машиной состоит в том, что оно создает простой и доступный способ обучения, в первую очередь, молодых специалистов.

Описание программы

Программа предназначена для проектирования стационарных линейных динамических систем. Она составлена для работы в диалоговом режиме, то есть проектировщик ставит перед машиной вопросы и, исходя из ее ответов, определяет дальнейшие свои действия.

В отличие от программ, описанных в литературе /см. /1,2/ /, система задается структурной схемой произвольного вида с одним входом и одним выходом и передаточными функциями составляющих ее звеньев.

Результатом работы программы являются графические характеристики системы, получаемые на основании известных в классической теории регулирования методов расчета во временной, частотной и комплексной областях.

Диалог с машиной следует начинать, исходя из известных структурной схемы системы и передаточных функций всех ее звеньев.

Первоначальная структурная схема определяется из условий технического задания, опыта, а иногда и интуиции проектировщика. Часть параметров обычно известна, значения остальных задаются проектировщиком, называемым в дальнейшем пользователем. При первом обращении к ЭВМ пользователь на терминале получает справку о возможностях программы. Затем с помощью стандартных изображений элементов схемы и оцифрованной координатной сетки точек на экране дисплея*, формиру-

руемых программой, он поэлементно создает изображение структурной схемы, осуществляя ввод ее в ЭВМ. Одновременное отображение вводимых элементов на дисплее помогает пользователю визуально контролировать свои действия. После окончания построения схемы программа запрашивает вход-выход системы и численные значения коэффициентов передаточных функций звеньев. Если пользователь обнаружил ошибки при вводе, то он делает соответствующие исправления, после чего программа вычисляет эквивалентную передаточную функцию системы и предлагает выбрать метод расчета: по частотным или временным характеристикам.

В свою очередь, из частотных могут быть построены амплитудная, фазовая, амплитудно-фазовая /прямая и инверсная/, вещественная характеристики. Пользователь выбирает тип характеристики и, отвечая на вопросы машины, определяет необходимые параметры алгоритма, например, частотный диапазон, вид воздействия и время наблюдения в системе для переходного процесса, область исследуемой комплексной плоскости для корневого годографа, число расчетных точек и некоторые другие. Получив необходимые данные, ЭВМ вычисляет выбранную характеристику. При этом, если пользователь указал пределы ее изменения, то она поточечно воспроизводится на дисплее; в противном случае график строится целиком после окончания расчета.

Оценивая характеристику, пользователь может прервать процесс счета, изменить параметры алгоритма и повторить вычисления, запросить другой метод расчета, изменить структурную схему путем добавления или удаления звеньев, изменить значения коэффициентов передаточных функций, изменить вид и точку приложения воздействия. При необходимости можно получить протокол расчета на печатающем устройстве и зарисовать кривые на графопостроителе.

Путем сравнения характеристик системы при изменении структуры и /или/ параметров пользователь наблюдает изменения в поведении системы, добиваясь методом проб и ошибок получения желаемого результата. Таким образом экспериментируя с моделью, он может за короткое время испытать интересные его варианты.

* Такой программный прием позволяет "рисовать" на дисплеях без органа обратной связи.

Организация программы такова, что после каждого изменения в структуре системы или численных значениях коэффициентов передаточных функций выполняется преобразование структурной схемы с получением передаточной функции между заданными точками входа и выхода.

Функционально программа состоит из следующих основных блоков:

1/ блока ввода топологии системы, ввода значений параметров передаточных функций звеньев, задания входа и выхода системы, вычисления эквивалентной передаточной функции $W(p)$;

2/ блока расчета частотных характеристик для известной передаточной функции;

3/ блока расчета переходных процессов для известных передаточной функции $W(p)$ системы и изображения $F(p)$ воздействия по Лапласу;

4/ блока построения корневого годографа для известной передаточной функции.

Каждый из перечисленных блоков может быть использован самостоятельно.

Программа написана преимущественно на языке ФОРТРАН IV для малой ЭВМ HP 2116C, имеет оверлейную структуру и требует около 15К слов оперативной памяти. Максимальный размер схемы ограничен 24 звеньями, порядок системы не превышает 15, максимальное число расчетных точек для характеристик - 300.

Методы расчета

Каждая передаточная функция должна быть отношением полиномов, разложенных или не разложенных на множители.

Расчет частотных характеристик для известной передаточной функции производится по соответствующим формулам с использованием арифметики комплексных чисел.

Для получения реакции системы на детерминированные воздействия используется известная связь между

переходным процессом $x(t)$ и вещественной частотной характеристикой /ВЧХ/ /3/

$$x(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \sin \omega t \cdot d\omega,$$

где $P(\omega) = \text{Re} [L(p)]_{p=j\omega}$, $L(p) = p \cdot W(p)F(p)$,

$P(\omega)$ - обобщенная ВЧХ системы.

Метод является приближенным, поскольку неопределенный интеграл подсчитывается по формуле для определенного интеграла, в котором верхний предел и число узлов интегрирования задаются пользователем по виду ВЧХ. Класс возможных воздействий определяется из условия, что все полюса функции $L(p)$ расположены слева от мнимой оси комплексной плоскости.

Корневой годограф строится для систем, в характеристическое уравнение которых исследуемый параметр K входит линейно, то есть передаточная функция разомкнутой системы должна иметь вид

$$\frac{K \cdot N(p) \cdot \exp(-\tau p)}{G(p)},$$

где $N(p)$, $G(p)$ - полиномы, τ - время запаздывания.

Для этой цели можно использовать блок I программы. Алгоритм построения основан на растровом просмотре узлов сетки, покрывающей прямоугольную часть комплексной плоскости, определенную пользователем. Программная реализация алгоритма получена переработкой /4/.

Свертывание структурной схемы с получением $W(p)$ производится по алгоритму, который использует в определенной последовательности основные правила преобразования структурных схем с перекрестными связями.

В заключение автор считает своим долгом выразить признательность Г.С.Чхартишвили и Л.П.Чхартишвили за полезные обсуждения в процессе постановки задачи; С.В.Медведю за содействие, позволившее в сравнительно короткий срок отладить программу, а также за помощь при редактировании рукописи; С.И.Орманджиеву за практические примеры, на которых испытывалась программа.

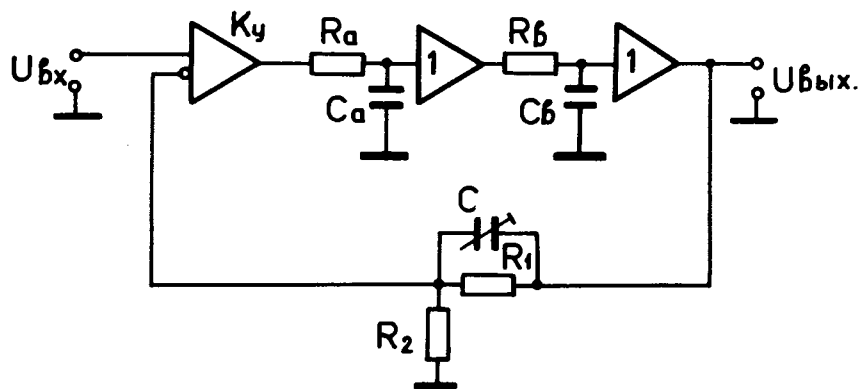


Рис. 1. Электрическая схема усилительного каскада.

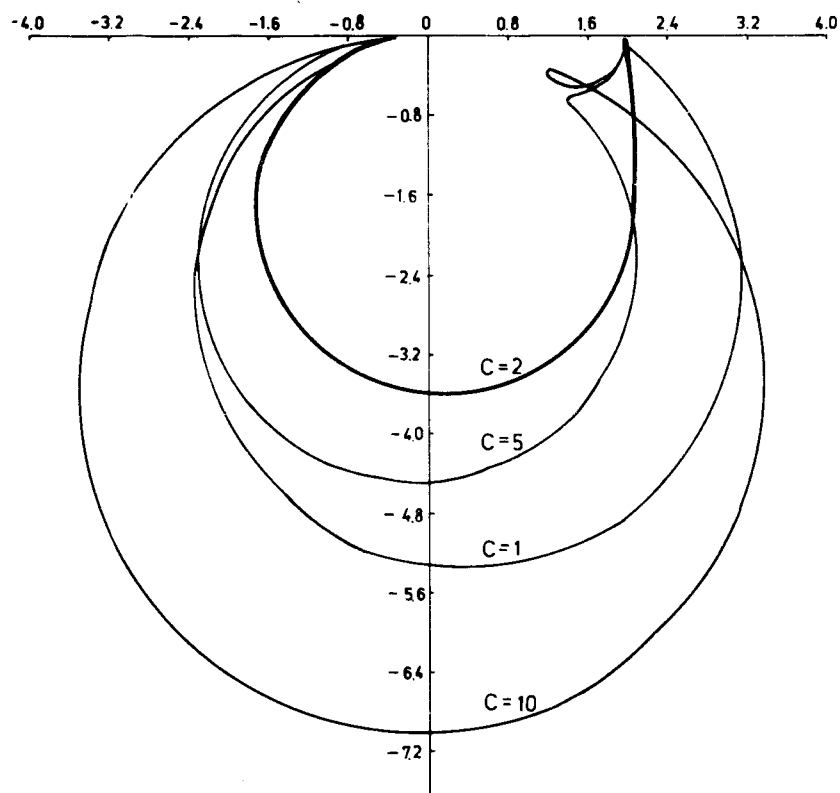


Рис. 2. Амплитудно-фазовые характеристики схемы.

Приложение

В качестве одного из простейших примеров использования программы можно привести решение задачи поиска максимальной устойчивости усилительного каскада на операционном усилителе 1УТ 401. Для малых входных сигналов эквивалентная линейная схема /рис. 1/ состоит из идеального усилителя, двух буферных каскадов, разделенных RC интегрирующими звеньями, и цепи обратной связи. Рассматривался случай введения глубокой отрицательной обратной связи с передаточной функцией

$$K \frac{1 + pT}{1 + KpT} \text{ /упругое дифференцирующее звено/.$$

Это позволяет сместить один из полюсов системы в область

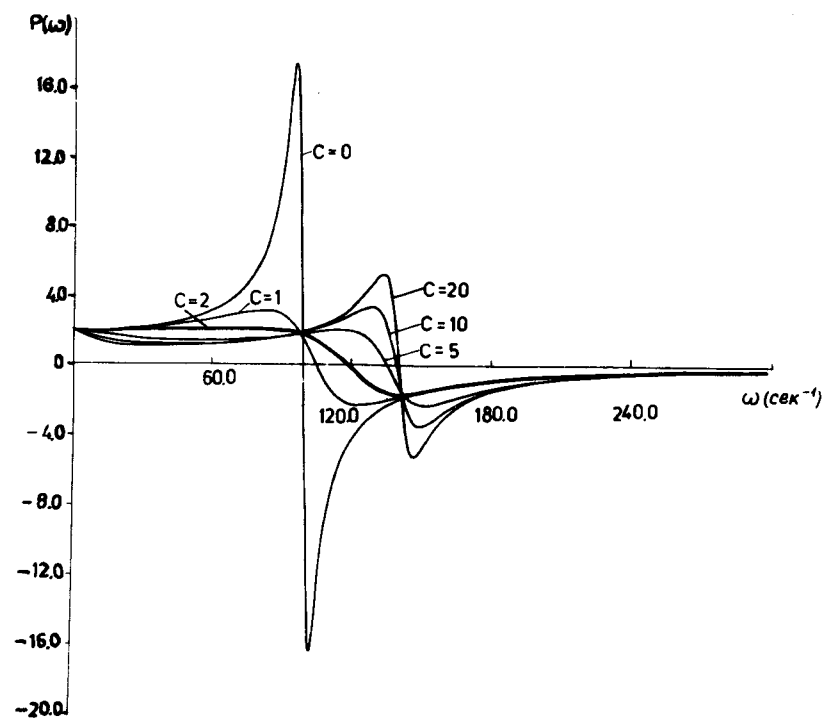


Рис. 3. Вещественные частотные характеристики схемы.

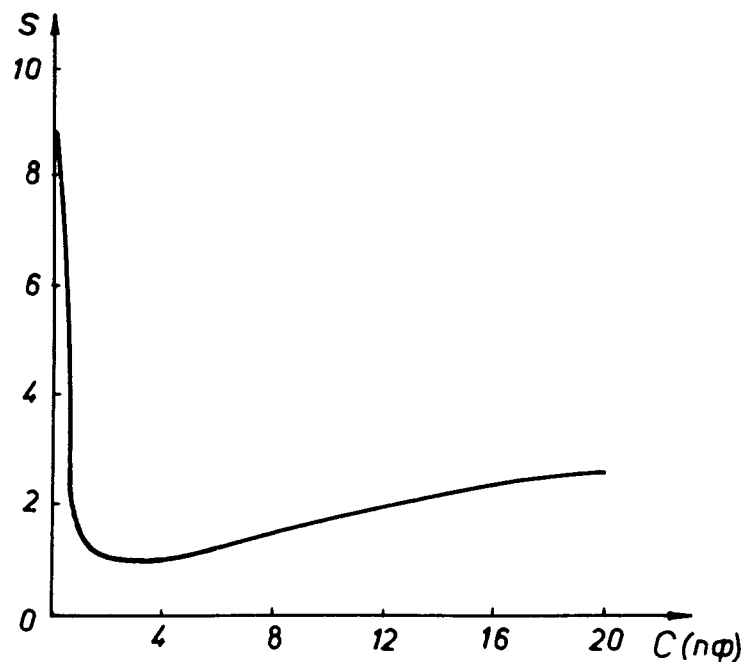


Рис. 4. График для выбора величины C .

более высоких частот, что соответствует повышению устойчивости системы.

При известных $R_a = 5,1 \text{ кОм}$, $R_b = 33 \text{ кОм}$, $R_1 = R_2 = 6,8 \text{ кОм}$, $C_a = C_b = 20 \text{ нФ}$, $K_y = 3000$ подбиралась величина емкости C в цепи обратной связи. Анализ системы осуществлялся частотным методом. Для различных значений $T = R_1 C$ были построены амплитудно-фазовые характеристики /рис. 2/, из которых видно, что максимальной устойчивости системы соответствует величина емкости $C = 2 \text{ нФ}$.

К аналогичному заключению можно прийти и путем анализа вещественных частотных характеристик /рис. 3/.

На рис. 4 построен график отношения S максимального значения ВЧХ к ее значению на нулевой частоте в зависимости от величины емкости C .

Полученный результат подтверждается испытаниями на реальной схеме.

Литература

1. P. Atkinson. Computer Aided Design of Closed-Loop Control Systems. CAD, 4, No. 3 (1972).
2. B. R. Shearer et al. A Suite of Programs for Classical Control Systems Design. IEE Conference Publ., 96 (1973).
3. А. А. Воронов. Основы теории автоматического управления. Часть 1, "Энергия", М-Л., 1965.
4. T. Kovacs. An Algol Program for Generating Root Locus Diagrams. Periodica Polytechnica, EE, 13, No. 1-2 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 мая 1975 года.