

пожаре. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность. – М.: Стандартинформ, 2021.

3. LoRaWAN. Things Network // LoRaWAN Architecture. URL: <https://www.thethings-network.org/docs/lorawan/> (Дата обращения 01.11 2024).

УДК 681.5

Пильцов Михаил Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры «Промышленная электроника и информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: mpilcov@yandex.ru

Позднухов Алексей Александрович,
обучающийся группы ЭН-21-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: aleksejdragunov910@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ «МАХИМА» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Piltsov M.V., Pozdnukhov A.A.

APPLICATION OF THE MAXIMA COMPUTER ALGEBRA SYSTEM FOR SOLVING AUTOMATIC CONTROL PROBLEMS

Аннотация. Рассмотрено применение инструментов системы компьютерной алгебры Maxima для решения задач в области автоматического управления. Рассмотрен способ упрощения вывода передаточной функции системы автоматического управления на основе её структурной схемы. Также рассмотрен способ упрощения вывода аналитических выражений АЧХ, ФЧХ и АФХ из передаточной функции.

Ключевые слова: автоматическое управление, структурная схема, система компьютерной алгебры, частотные характеристики, передаточная функция.

Abstract. The application of the Maxima computer algebra system tools for solving problems in the field of automatic control is considered. A method for simplifying the derivation of the transfer function of an automatic control system based on its structural diagram is considered. A method for simplifying the derivation of analytical expressions for the AFC, PFC, and AFC from the transfer function is also considered.

Keywords: automatic control, block diagram, computer algebra system, frequency characteristics, transfer function.

В настоящее время огромное количество технологических процессов выполняется без участия человека, то есть в автоматическом режиме. Изучению процессов автоматического управления объектами разной физической природы посвящена научная дисциплина, называемая «Теория автоматического управления» или сокращённо ТАУ.

При проектировании систем управления, используя приёмы и методы, широко применяемые в ТАУ, часто возникают задачи, которые требуют упрощения громоздких выражений или разделения сложных комплексных выражений на вещественную и мнимую части. Ручное выполнение подобных операций трудозатратно и занимает много времени. К тому же появляется вероятность возникновения ошибок. Исключить

подобное можно путём использования системы компьютерной алгебры Maxima, которая представляет собой универсальный инструмент для аналитических вычислений [1]. К тому же данная система относится к свободно распространяемому программному обеспечению.

Одним из важных инструментов ТАУ является структурный анализ, при котором сложные системы автоматического управления разбиваются на части, описываемые простыми зависимостями [2]. Из этих частей строятся структурные схемы, являющимися по сути графическими и наглядными изображениями дифференциальных уравнений систем управления.

В качестве примера рассмотрим структурную схему, приведённую на рисунке 1.

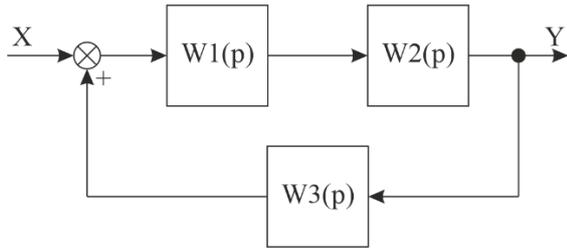


Рисунок 1 – Пример структурной схемы

Приведённая на рисунке 1 структурная схема состоит из трёх звеньев с передаточными функциями:

$$W1(p) = \frac{2 \cdot p}{5 \cdot p^2 + 7 \cdot p + 21}, \quad (1)$$

$$W2(p) = \frac{5 \cdot p}{9 \cdot p + 2}, \quad (2)$$

$$W3(p) = \frac{8 \cdot p^2 + 1}{2 \cdot p^2 + 3 \cdot p}. \quad (3)$$

Далее необходимо путём элементарных преобразований свести её к одному звену с некой новой передаточной функцией. Из рисунка 1 видно, что звенья $W1(p)$ и $W2(p)$ соединены последовательно, следовательно, их можно заменить звеном с передаточной функцией, равной произведению $W1(p)$ и $W2(p)$. На следующем этапе необходимо исключить звено $W3(p)$, которое стоит в цепи положительной обратной связи. Преобразовав такое соединение, получим выражение для итоговой передаточной функции $W(p)$:

$$W(p) = \frac{W1(p) \cdot W2(p)}{1 - W1(p) \cdot W2(p) \cdot W3(p)}. \quad (4)$$

Подставив (1), (2) и (3) в (4) получим итоговое выражение для передаточной функции:

$$W(p) = \frac{\frac{2 \cdot p}{5 \cdot p^2 + 7 \cdot p + 21} \cdot \frac{5 \cdot p}{9 \cdot p + 2}}{1 - \frac{2 \cdot p}{5 \cdot p^2 + 7 \cdot p + 21} \cdot \frac{5 \cdot p}{9 \cdot p + 2} \cdot \frac{8 \cdot p^2 + 1}{2 \cdot p^2 + 3 \cdot p}}.$$

Полученное выражение передаточной функции необходимо привести к дроби, где в числителе и знаменателе будут степенные полиномы от оператора p , то есть характеристические уравнения. Очевидно, что подобное преобразование даже для такой достаточно простой структурной схемы (рисунок 1) является трудоёмкой задачей.

Решить такую задачу можно при помощи современных программных математи-

ческих пакетов, таких как Mathcad, Maple, Wolfram Mathematica и др. Однако данные продукты являются проприетарными, имеют высокую стоимость и не всегда имеют доступные пробные версии. Полноценной альтернативой данных пакетов, может служить система компьютерной алгебры Maxima, бесплатно использовать которую может любой желающий.

Интерфейс Maxima довольно прост и представляет собой большое поле для ввода математических выражений, идущих сверху вниз, строка за строкой. Более подробно ознакомиться с интерфейсом и возможностями программы можно в следующих источниках [3, 4].

```

Рассмотрим сначала числитель W(p)
→ 2·p·5·p;
(%o2) 10 p2
→ (5·p2+7·p+21)·(9·p+2);
(%o3) (9 p+2)(5 p2+7 p+21)
Упростим выражение выше
→ ratsimp(%);
(%o4) 45 p3+73 p2+203 p+42
Итоговое выражение для числителя
→ (10·p2)/(45·p3+73·p2+203·p+42);
(%o5)  $\frac{10 p^2}{45 p^3 + 73 p^2 + 203 p + 42}$ 
    
```

Рисунок 2 – Упрощение числителя $W(p)$

Стоит заметить, что современные математические пакеты не имеют в своём составе инструментов для нахождения передаточных функций. В них присутствуют функции, упрощающие выражения, например, функция «collect» в MathCad или «ratsimp» в Maxima. Использовать их для нахождения передаточных функций напрямую нельзя, так как последние являются не просто обычными дробями, в них нельзя сокращать общие множители p у числителя и знаменателя, так как при этом понижается порядок дифференциального уравнений.

Рассмотрим получение передаточной функции в Maxima на примере выражения (4). Для начала упростим числитель этого выражения (рисунок 2).

Теперь упростим знаменатель выражения (4). Из формулы видно, что в знаменателе от единицы отнимается произведение трёх дробей. Упростим это произведение (рисунок 3).

```

Рассмотрим знаменатель W(p)
→ 2·p·5·p·(8·p^2+1);
(%o6) 10 p^2 (8 p^2 + 1)
Упростим выражение выше
→ ratsimp(%);
(%o7) 80 p^4 + 10 p^2
→ (5·p^2+7·p+21)·(9·p+2)·(2·p^2+3·p);
(%o8) (9 p + 2) (2 p^2 + 3 p) (5 p^2 + 7 p + 21)
→ ratsimp(%);
(%o9) 90 p^5 + 281 p^4 + 625 p^3 + 693 p^2 + 126 p
Итоговое выражение для знаменателя
→ 1-(80·p^4+10·p^2)/(90·p^5+281·p^4
+625·p^3+693·p^2+126·p);
(%o10) 1 -  $\frac{80 p^4 + 10 p^2}{90 p^5 + 281 p^4 + 625 p^3 + 693 p^2 + 126 p}$ 

```

Рисунок 3 – Первый этап упрощения знаменателя $W(p)$

Теперь от единицы можно отнять получившуюся дробь (рисунок 4) и завершить упрощение знаменателя $W(p)$.

```

Выполним вычитание из единицы дроби, приведя её
к общему знаменателю
→ (90·p^5+281·p^4+625·p^3+693·p^2+126·p)-(80·p^4+10·p^2);
(%o11) 90 p^5 + 201 p^4 + 625 p^3 + 683 p^2 + 126 p
Итоговый вид знаменателя
→ (90·p^5+201·p^4+625·p^3+683·p^2+126·p)/
(90·p^5+281·p^4+625·p^3+693·p^2+126·p);
(%o12)  $\frac{90 p^5 + 201 p^4 + 625 p^3 + 683 p^2 + 126 p}{90 p^5 + 281 p^4 + 625 p^3 + 693 p^2 + 126 p}$ 

```

Рисунок 4 – Второй этап упрощения знаменателя $W(p)$

Теперь необходимо дробь числителя поделить на дробь знаменателя, чтобы получить итоговое выражение передаточной функции (рисунок 5).

Таким образом, видно что Maxima позволяет значительно упростить вывод передаточных функций.

Проблему в ТАУ представляет также процедура получения частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ и АФХ) из выражения для передаточной функции. При этом оператор p в ней заменяют на произведение мнимой единицы на угловую частоту $j \cdot \omega$. После чего нужно, как правило, в достаточно громоздком выражении выделить вещественную и мнимую части, что также является трудоёмким занятием Упростить его может встроенная в Maxima функция «rectform», рас-

смотрим её работу на конкретном примере. Пусть дана передаточная функция:

$$W(p) = \frac{1}{1 + 8 \cdot p},$$

произведём в ней замену p на $j \cdot \omega$

$$W(p) = \frac{1}{1 + 8 \cdot j \cdot \omega}.$$

```

→ (10·p^2)·(90·p^5+281·p^4+625·p^3+693·p^2+126·p);
(%o13) 10 p^2 (90 p^5 + 281 p^4 + 625 p^3 + 693 p^2 + 126 p)
→ ratsimp(%);
(%o14) 900 p^7 + 2810 p^6 + 6250 p^5 + 6930 p^4 + 1260 p^3
→ (45·p^3+73·p^2+203·p+42)·(90·p^5+201·p^4+625·p^3+683·p^2+126·p);
(%o15) (45 p^3 + 73 p^2 + 203 p + 42) (90 p^5 + 201 p^4 + 625 p^3 + 683 p^2 + 126 p)
→ ratsimp(%);
(%o16) 4050 p^8 + 15615 p^7 + 61068 p^6 + 120943 p^5 + 190846 p^4 + 174097 p^3 + 54264 p^2 + 5292 p
Итоговая W(p)
→ (900·p^7+2810·p^6+6250·p^5+6930·p^4+1260·p^3)/(4050·p^8
+15615·p^7+61068·p^6+120943·p^5+190846·p^4
+174097·p^3+54264·p^2+5292·p);
(%o17)  $\frac{900 p^7 + 2810 p^6 + 6250 p^5 + 6930 p^4 + 1260 p^3}{4050 p^8 + 15615 p^7 + 61068 p^6 + 120943 p^5 + 190846 p^4 + 174097 p^3 + 54264 p^2 + 5292 p}$ 

```

Рисунок 5 – Завершающий этап преобразования $W(p)$

Теперь наберём данное выражение в Maxima и применим функцию «rectform» (рисунок 6).

```

→ 1/(1+8·%i·w);
(%o1)  $\frac{1}{8 \%i w + 1}$ 
→ rectform(%);
(%o2)  $\frac{1}{64 w^2 + 1} - \frac{8 \%i w}{64 w^2 + 1}$ 

```

Рисунок 6 – Пример работы функции «rectform» в Maxima

Из рисунка 6 видно, что Maxima при помощи одной функции преобразует комплексные выражения, выделяя в нем вещественную и мнимую части, при этом мнимая единица в программе обозначается, как «%i».

В статье была рассмотрена небольшая часть возможностей системы компьютерной алгебры Maxima. Программа позволяет решать системы уравнений, находить производные и интегралы функций, решать дифференциальные уравнения, строить графики функций и т. д., следовательно, она может оказаться полезной не только в ТАУ, но и других технических дисциплинах, позволяя автоматизировать и ускорять расчёты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система компьютерной алгебры МАХИМА. – Текст электронный [Электронный ресурс] URL: <https://maxima.sourceforge.io/ru/index.html> (дата обращения 13.11.2024).
2. **Востриков, А.С.** Теория автоматического регулирования / А. С. Востриков, Г.А. Французова. – М.: Издательство «Высшая школа», 2004. – 365 с.
3. **Стахин, Н.А.** Основы работы с системой аналитических (символьных) вычислений Maxima / Н. А. Стахин. – М.: 2008. – 86 с.
4. **Чичкарев, Е.А.** Компьютерная математика с Maxima: Руководство для школьников и студентов / Е. А. Чичкарев. – М.: ALT Linux, 2012. – 384 с.

УДК 004.02

Чичкова Надежда Вячеславовна,*студентка кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»***Сенотова Светлана Анатольевна,***к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 89021723488***ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «СТОИМОСТЬ ЖИЗНИ В РЕГИОНАХ РОССИИ»***Chichkova N.V., Senotova S.A.***INFORMATION SYSTEM «COST OF LIVING IN RUSSIAN REGIONS»**

Аннотация. Рассмотрена информационная система, которая отображает среднюю стоимость потребительской корзины в зависимости от региона. Информационная система разработана с помощью свободно распространяемого кроссплатформенного фреймворка для создания веб-приложений на платформе .NET с открытым исходным кодом.

Ключевые слова: информационная система, сайт, C#, JavaScript, PostgreSQL.

Abstract. An information system is considered, which displays the average cost of the consumer basket depending on the region. The information system is developed using a free cross-platform framework for creating web applications on the .NET open source platform.

Keywords: information system, website, C#, JavaScript, PostgreSQL.

Стоимость проживания в разных регионах России – один из важных показателей социально-экономического развития страны. Несмотря на объединенное государство, уровень жизни и стоимость товаров и услуг сильно отличаются от региона к региону. Ключевыми факторами, влияющими на стоимость жизни в регионах, являются доходы населения. В регионах с высоким уровнем доходов средняя стоимость жизни значительно выше из-за более дорогой жилплощади, продуктов питания, транспорта и услуг. В том числе, стоимость жизни зависит от инфляции и может быть оценена по уровню социального обеспечения и доступности социальных услуг, таких как жилищные условия и транспортная инфраструктура.

Актуальность данной темы обусловлена активным обсуждением вопросов эконо-

мического развития и уровня жизни населения в России. Стоимость жизни является важным показателем социально-экономического благополучия граждан, а информационные системы позволяют эффективно собирать, анализировать и распространять данные о ценах, расходах и других показателях, влияющих на уровень жизни населения.

Таким образом, разработка и использование информационных систем в данной сфере помогает улучшить мониторинг и анализ экономических процессов, повысить прозрачность и доступность информации для принятия обоснованных решений о социально-экономической политике.

Исходя из множества источников, предоставляющих данные о расходах в России, было принято решение о создании уникального и упрощенного источника инфор-