

УДК 004.942

В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Н. Зайченко

Определение значений параметров регулятора с помощью многоуровневой компьютерной модели

Предложена методика вычисления значений параметров регулятора с учетом требований статики и динамики. Применение многоуровневой компьютерной модели, в которой осуществляется минимизация целевой функции при варьировании значений параметров регулятора, делает предложенную методику инвариантной по отношению как к объекту управления, так и к подключаемому к нему регулятору. Помимо этого, инвариантным становится сам алгоритм формирования, расчёта и минимизации целевой функции, составленной относительно параметров-функционалов выходной величины исследуемой САУ.

Ключевые слова: регулятор, теория автоматического управления, многоуровневая компьютерная модель, параметрическая оптимизация.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-2-91-95

При управлении различными объектами используются регуляторы, параметры которых варьируются в заданных пределах и могут быть определены на основе различных методик. Большинство из них основано на критериях, составленных относительно статических и динамических показателей качества управления. Их вычисление требует получения модели системы автоматического управления (САУ), состоящей из охваченных обратной связью регулятора и объекта управления. Она может быть представлена в аналитическом виде или с помощью некоторого средства компьютерного моделирования [1, 2]. При аналитическом подходе модификация объекта или регулятора приводит к необходимости вывести новую модель исследуемой САУ. Применяемые средства компьютерного моделирования должны совмещать в себе средства математического моделирования САУ и средства компьютерной математики, предназначенные для вычисления параметров модели регулятора. Входящая в САУ модель объекта управления может обладать энергетическими обратными связями, что не позволяет её представить в явном виде, т.е. в виде передаточных функций, как это принято в классической теории автоматического управления.

В данной статье рассматривается методика определения значений параметров регулятора на базе многоуровневой компьютерной модели, на различных уровнях которой располагается модель САУ, алгоритмическая модель методики решения задачи определения значений параметров входящего(-их) в нее регулятора(-ов), а также средства визуализации и интерактивного управления. Благодаря использованию такой модели появляется возможность экспериментирования с компьютерной моделью САУ и выработки алгоритма определения значений параметров регулятора, на основе которого может быть сформирована программа для управляющего контроллера. Такое разделение модели на уровни позволяет вносить изменения в модель одного уровня, не изменяя модели остальных уровней. Это делает методику определения значений параметров регуляторов инвариантной как по отношению к объекту

управления, так и к подключенному к нему регулятору. Кроме того, изменения могут вноситься в методику решения задачи без изменения модели объекта. Также открываются возможности широкой визуализации процесса решения задачи и интерактивного варьирования значений параметров объекта и начальных значений параметров регулятора.

Компьютерное решение задачи определения параметров регулятора САУ

Задачу определения параметров регулятора рассмотрим на примере одноканального объекта управления – двигателя постоянного тока. Автоматизация её решения может быть осуществлена путем использования многоуровневой компьютерной модели, построенной в среде моделирования MAPS [3], которая получила развитие в виде комплекса программ многоуровневого компьютерного моделирования. В основе этой среды лежит метод многоуровневого компьютерного моделирования [4], базирующийся на методе компонентных цепей [5].

Для автоматизации решения задач данного класса многоуровневая компьютерная модель (КМ) (рис. 1) включает в себя:

- объектный уровень, на котором располагается компьютерная модель исследуемого технического объекта, представленная в схематической форме в виде соединенных между собой компонентов, связи которых описывают передачу информационных и энергетических потоков между ними. В модель объекта включаются компоненты физически реализуемых регуляторов, значения параметров которых варьируются в процессе решения задачи их определения;

- логический уровень, содержащий алгоритм определения параметров регулятора на основе численного анализа значений наблюдаемой(-ых) переменной(-ых). В него входят блоки обработки результатов моделирования, позволяющие определять параметры-функционалы данных переменных, такие как установившееся значение, время переходного процесса, перерегулирование и др. Их значения передаются в алгоритм оптимизации целевой функции, реализуемый в компоненте «Оптимизатор»;



Рис. 1. Структура многоуровневой компьютерной модели для определения значений параметров регулятора

– визуальный уровень, представляющий собой панель визуализации и управления. На нем с помощью компонентов-визуализаторов осуществляется отображение результатов моделирования в виде числовых значений параметров-функционалов и временных характеристик наблюдаемых переменных. Управляющие компоненты используются для формирования значений требуемых показателей качества работы САУ. Для формирования многоуровневой компьютерной модели реализован язык многоуровневого компьютерного моделирования, позволяющий формировать многоуровневую компьютерную модель на трех взаимосвязанных слоях многослойного графического редактора.

Структура языка многоуровневого компьютерного моделирования

Язык многоуровневого компьютерного моделирования [6], являясь графическим метаязыком, включает в себя три взаимосвязанных подязыка:

– *язык моделирования сложных технических (технологических) объектов* (язык СТО), позволяющий на основе компонентного подхода формировать компьютерную модель исследуемого объекта. В этом случае такой объект должен допускать декомпозицию на взаимосвязанные элементы, между которыми протекают информационные, энергетические или вещественные потоки. Каждому элементу ставится в соответствие компонент структуры, который является единицей языка СТО. Для соединения с другими компонентами он обладает связями. С их помощью осуществляется передача информационных сигналов физически разнородной энергии или многокомпонентных вещественных потоков. Основными компонентами языка СТО являются источники, преобразователи и измерители. Для осуществления передачи информационных, энергетических и вещественных потоков связи компонентов являются неоднородными векторными. К числу преобразова-

телей информационных сигналов относятся компоненты-регуляторы различного класса;

– *язык моделирования алгоритмических конструкций* (язык МАК), в формате которого на логическом уровне многоуровневой КМ формируется алгоритм определения значений параметров регулятора. Основными его единицами являются алгоритмические компоненты, предназначенные для отображения математических, логических и алгоритмических операций, а также интерактивные панели. Они являются компонентами языка МАК и располагаются на логическом уровне многоуровневой компьютерной модели. В интерактивные панели встроен редактор математико-алгоритмических выражений, в котором пользователем на естественно математическом языке формируются выражения для вычисления значений выходных переменных на основе значений входных переменных. Модель каждой панели формируется из элементарных компонентов при закрытии редактора. Более сложными конструкциями языка МАК являются блоки обработки результатов моделирования, представленных в виде временных, частотных или параметрических характеристик, а также компоненты-оптимизаторы с реализованными в них безградиентными и градиентными методами минимизации целевых функций;

– *язык виртуальных инструментов и приборов* (язык ВИП), включающий в себя компоненты-визуализаторы и управляющие компоненты [7], с которыми оперирует пользователь-исследователь в процессе работы многоуровневой КМ. Компоненты-визуализаторы позволяют отображать полученные с помощью блоков обработки результатов моделирования числовые значения параметров-функционалов, а также временные, частотные или параметрические зависимости, представленные в табличной или графической форме.

Таким образом, совокупность трех описанных подязыков метаязыка многоуровневого компьютерного моделирования позволяет сформировать многоуровневую компьютерную модель, структура которой представлена на рис. 1 в графической форме в многослойном редакторе среды многоуровневого компьютерного моделирования.

Для функционирования моделей языка СТО, каждый компонент которой описывается системой алгебро-дифференциальных уравнений, сформированных относительно переменных его связей, применяется универсальное вычислительное ядро [8], входными данными которого являются компонентная цепь, формируемая интерпретатором языка СТО, и задание на моделирование, содержащее вид анализа и его параметры. На основе опросов топологических и вычислительных блоков компонентов оно формирует систему алгебро-дифференциальных уравнений всей модели целиком и производит её расчет в статическом или динамическом (во временной или частотной области) режимах. С помощью компонентов-измерителей, являющихся структурными единицами языка СТО, на каждом шаге решения осуществляется выборка значений соответствующих переменных из общего вектора решения и их передача на логический уровень. Для осуществления этих функций компоненты-измерители имеют свои отображения как на объектном, так и на логическом слое многослойного редактора.

Работа компонентов, из которых на логическом уровне сформирован алгоритм определения параметров регулятора, обеспечивается средствами имитационного моделирования. К ним относятся интерпретатор языка МАК, осуществляющий построение алгоритмической компонентной цепи, а также универсальное имитационное ядро, которое с помощью алгоритма передачи сообщений [9] обеспечивает обмен данными различных типов между компонентами логического уровня многоуровневой КМ.

Обеспечение работы компонентов визуального уровня осуществляется путем реализации в них реакций на действия пользователя с помощью курсора мыши (подвод курсора мыши, нажатие/двойное нажатие на определенную кнопку и т.п.). В число аргументов таких компонентов включаются атрибуты, с помощью которых производится изменение их вида (размера, цвета, линий, шрифтов и т.п.).

Таким образом, комплекс программ «Среда моделирования МАРС» включает все необходимые программно-алгоритмические модули, позволяющие сопрягать в нем средства математического и имитационного видов моделирования, отличающихся формой записи моделей относительно переменных связей. Такой программный комплекс является достаточным для обеспечения автоматизированного решения задач определения значений параметров регулятора, удовлетворяющего предъявляемым к системе требованиям статики и динамики.

Многоуровневая компьютерная модель определения значений параметров регулятора

Построение многоуровневой компьютерной модели, предназначенной для определения значений

параметров регулятора, будем рассматривать на примере двигателя постоянного тока (ДПТ), управляемого с помощью пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД-регулятора). Он должен обеспечивать в системе следующее качество регулирования: время установления (время переходного процесса) $T_{pp} \leq T_{pp}^*$, с, перерегулирование $\sigma \leq \sigma^*$. При этом значения T_{pp}^* и σ^* задаются и интерактивно изменяются пользователем с помощью расположенных на визуальном уровне органов управления.

Для решения данной задачи на вход исследуемой САУ, модель которой сформирована на объектном уровне многоуровневой КМ и представлена на рис. 2, подключен источник постоянного сигнала, пропорционального требуемой скорости вращения вала ДПТ. Снятие выходного сигнала и его передача с объектного на логический уровень многоуровневой КМ обеспечиваются измерительным компонентом U1.

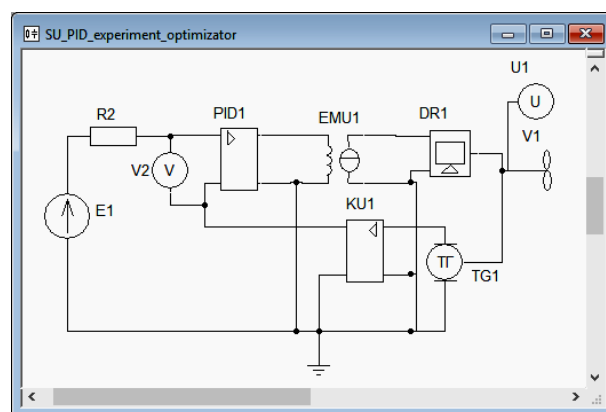


Рис. 2. Компьютерная модель системы управления скоростью вращения ДПТ

На логическом уровне многоуровневой компьютерной модели с помощью компонента-блока обработки результатов TRP1 осуществляется определение времени переходного процесса T_{pp} , а с помощью компонента FV1 – определение установившегося значения наблюдаемой величины – скорости вращения вала двигателя $y_{уст}$. На основе найденного с помощью компонента MAX1 максимального значения осуществляется определение перерегулирования по формуле

$$\sigma = \frac{|y_{\max} - y_{уст}|}{y_{\max}}, \quad (1)$$

где y_{\max} – максимальное значение наблюдаемой переменной в ходе переходного процесса; $y_{уст}$ – установившееся значение выходной переменной.

Согласно условию задачи целевая функция, составленная относительно значений параметров ПИД-регулятора и позволяющая обеспечить в САУ требуемое качество управления, будет иметь вид

$$F(P_p, P_i, P_d) = (T_{pp} - T_{pp}^*) + (\sigma - \sigma^*), \quad (2)$$

где T_{pp}^* – требуемое максимальное время установления; σ^* – требуемое перерегулирование.

Вычисление перерегулирования σ (1) и целевой функции $F(P_p, P_i, P_d)$ осуществляется компонентными основными математическими операциями на основе цепного представления математических выражений [10].

Представленная на рис. 3 алгоритмическая компонентная цепь определения значений параметров ПИД-регулятора, удовлетворяющих предъявляемым

требованиям к качеству функционирования САУ, основана на компоненте «Оптимизатор» Opt1 с реализованным в нем методом покоординатного спуска [11]. Результаты работы модели передаются на визуальный уровень. На нём с помощью компонентов-визуализаторов и управляющих компонентов реализована приведенная на рис. 4 панель визуализации результатов и управления параметрами модели.

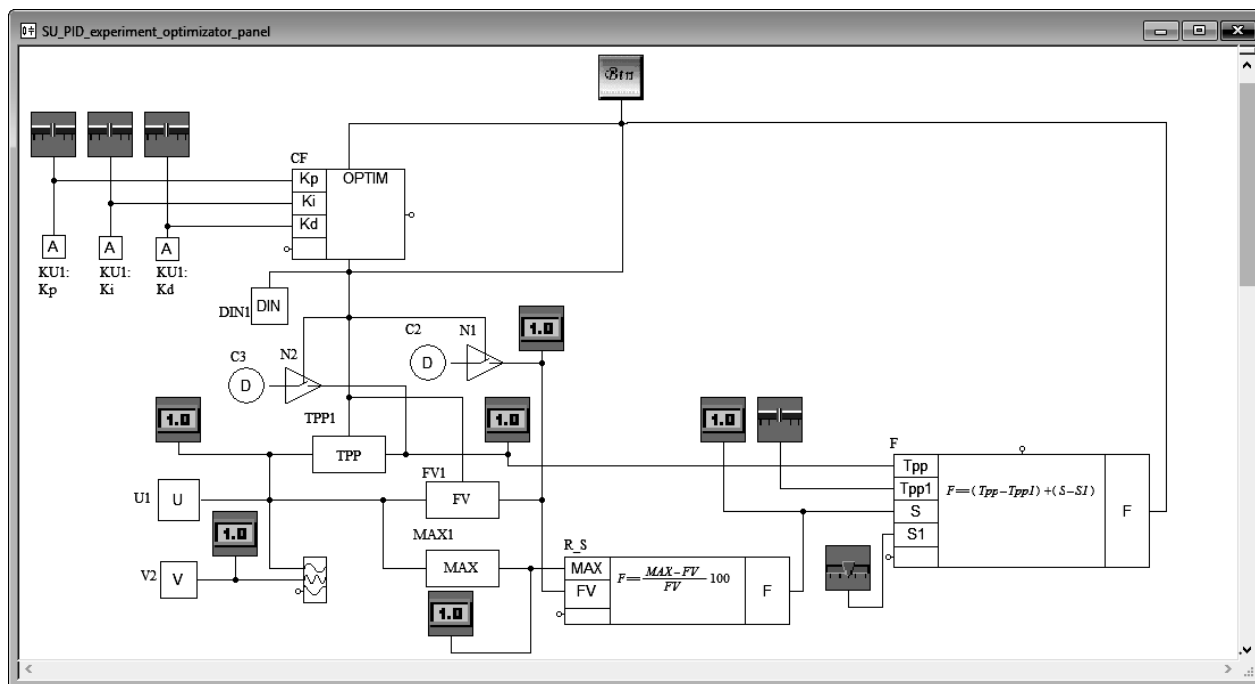


Рис. 3. Логический уровень многоуровневой компьютерной модели алгоритма определения значений параметров регулятора

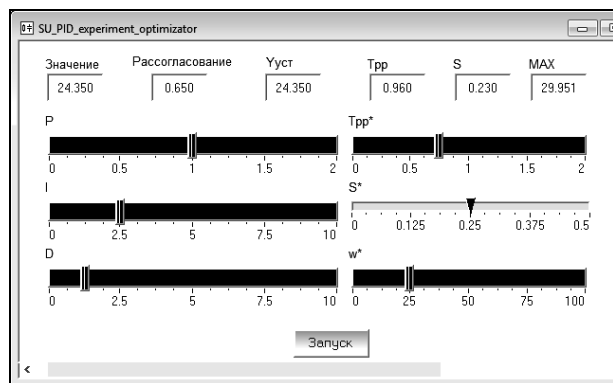


Рис. 4. Панель визуализации и управления параметрами ПИД-регулятора и условиями задачи

С помощью регуляторов P , I и D осуществляется установка начальных значений ПИД-регулятора, которые передаются в компонент «Оптимизатор». Регуляторами T_{pp}^* и S^* осуществляется задание требуемых показателей качества регулирования – времени переходного процесса и перерегулирования. С помощью регулятора w^* задается требуемая скорость вращения вала ДПТ при заданной нагрузке. Цифровые табло выводят соответствующие текущие значения переменных анализируемой компьютерной модели и параметров-функционалов, получаемых с

помощью блоков обработки результатов на логическом уровне многоуровневой КМ.

Точность решения задачи оптимизации задается в качестве параметра компонента «Оптимизатор» и не вынесена на визуальный уровень. Начальные значения шагов изменения параметров ПИД-регуляторов рассчитываются автоматически относительно значений его параметров.

Заключение

В работе рассмотрена возможность применения предложенной авторами многоуровневой компьютерной модели для автоматизированного решения задачи определения параметров регулятора, осуществляющего регулирование объектом управления в соответствии с предъявляемыми критериями качества. В отличие от подходов, реализованных в известных комплексах программ, многоуровневая компьютерная модель, представленная в графическом виде, позволяет быстро формировать и вносить коррективы в модель объекта управления, изменять модель встроенного в него регулятора, а также модифицировать алгоритм определения значений параметров регулятора, не изменяя при этом модели других уровней, если в этом нет необходимости. С использованием представленной многоуровневой компьютерной модели может быть осуществлён вычисли-

тельный эксперимент с интерактивным изменением значений параметров объекта и определением параметров регулятора, удовлетворяющих заданным условиям.

Аналогичным образом могут быть определены параметры регуляторов различных типов (линейных, релейных и пр.), управляющих процессами в линейных, нелинейных объектах, а также в объектах дискретного действия.

Предложенная многоуровневая компьютерная модель может применяться как для автоматизации проектных и научно-исследовательских работ, так и для проведения учебных занятий со студентами высших учебных заведений по дисциплине «Теория автоматического управления».

Литература

1. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP 1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Сер. Библиотека профессионала. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.
2. Потрахин В.А., Кравец М.А. Особенности реализации алгоритмов регулирования библиотеки PID Control LabView // ПиКАД – информационно-технический журнал. – 2003. – № 3–4. – С. 26–30 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.picad.com.ua/3403/pdf/26_30.pdf, свободный (дата обращения: 23.09.2016).
3. MAPC – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. – 278 с.
4. Дмитриев В.М. Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Информатика и системы управления. – 2013. – № 2 (36). – С. 24–35.
5. Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования промышленных роботов / В.М. Дмитриев, Л.А. Арайс, А.В. Шутенков. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
6. Дмитриев В.М. Метод и язык моделирования интеллектуальных систем управления сложными технологическими объектами / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Объектные системы: матер. X Междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 10–12 мая 2015 г.) / под общ. ред. П.П. Олейника. – Ростов-н/Д: ШИ (ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, 2015. – С. 44–50 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://objectsystems.ru/files/2015/Object_Systems_2015_Proceedings.pdf, свободный (дата обращения: 23.09.2016).
7. Дмитриев В.М. Система визуализации и управления вычислительным экспериментом в среде многоуровневого моделирования MAPC / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Ю. Коротина // Доклады ТУСУРа. – 2010. – Т. 1, № 2. – С. 149–155.
8. Дмитриев В.М. Архитектура универсального вычислительного ядра для реализации виртуальных лабораторий / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.В. Ганджа // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2004. – № 2. – С. 24–28.
9. Григорьева Т.Е. Дискретно-событийное моделирование в СМ MAC для курса «Системы массового обслуживания» // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 1 (31). – С. 152–155.
10. Дмитриев В.М. Алгоритм формирования и вычисления математических выражений методом компонентных цепей / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Математические машины и системы. – 2010. – № 3. – С. 9–21.
11. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.

Дмитриев Вячеслав Михайлович

Д-р техн. наук, профессор каф. моделирования и системного анализа (МиСА) ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 41-39-15
Эл. почта: dmitriewvm@gmail.com

Ганджа Тарас Викторович

Канд. техн. наук, доцент каф. МиСА ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 41-39-15
Эл. почта: gandgatv@gmail.com

Зайченко Татьяна Николаевна

Д-р техн. наук, профессор каф. МиСА ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 41-39-15
Эл. почта: ztn@ie.tusur.ru

Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Zaychenko T.N.

Defining parameters of a regulator using multilevel computer model

The method to calculate the parameter values of the regulator is proposed, taking into account the requirements of statics and dynamics. The use of a multilevel computer model where the objective function is minimized by varying the values of the regulator parameters makes the proposed technique invariant with respect for both the control object and the regulator connected to it. In addition, the algorithm itself used to form, to calculate and to minimize the objective function, composed with respect to the parameters-functionals of the output value of the analyzed ACS, becomes invariant.

Keywords: regulator, automatic control theory, multilevel computer model, parameter optimization.