СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ С ЦИФРОВЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

А.Г. Стрижнев, А.Н. Русакович
НПООО «ОКБ ТСП»
Минск, Республика Беларусь
E-mail: aliaksei.rusakovich@gmail.com

Предложена система автоматического управления переменной структуры, содержащая два цифровых регулятора, один из которых включен последовательно, а второй – параллельно объекту управления, имеющему дополнительный усилитель и единичную обратную связь. Такая система отличается простотой и обладает компромиссно хорошим качеством работы при отработке различных входных сигналов.

Введение

При синтезе корректирующих устройств (КУ) систем автоматического управления (САУ) необходимо учитывать особенности работы конкретных систем, их конструкцию, технические характеристики, вид входного воздействия. Проблема синтеза КУ в большинстве случаев точно не решается [1]. Система, оптимальная с точки зрения одного критерия, обычно не имеет оптимальных характеристик по другому критерию. Кроме того, многие САУ работают в нескольких режимах, например отработки больших скачкообразных воздействий и слежения за медленно изменяющимися входными сигналами. Одним из способов решения данной задачи может служить создание системы переменной структуры (СПС) [2], [3], [4], [5], которую можно выполнить оптимальной по нескольким критериям. Авторами предлагается вариант реализации СПС с применением двух переключаемых по выходу цифровых регуляторов (ЦР), один из которых включен в прямую цепь последовательно, а второй – в обратную связь, параллельно объекту управления (ОУ), имеющему дополнительный усилитель и единичную обратную связь.

I. Разработка структурной схемы СПС

Для отработки ступенчатых и синусоидальных сигналов различной амплитуды разработана схема цифровой СПС, которая приведена на рис. 1.

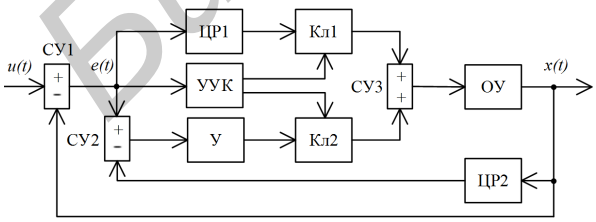

Рис. 1 – Схема цифровой СПС

Первая структура содержит сравнивающее устройство (СУ1), цифровой регулятор (ЦР1), коммутатор (ключ Кл1) и ОУ, и служит для отработки ошибки рассогласования, не больше заданной e_1. Вторая структура, кроме СУ1 и ОУ, включает блоки ЦР2, Кл2, СУ2 и дополнительный усилитель (У). Эта структура служит для отработки ошибки рассогласования, превышающей e_1. Переключение структур осуществляется при помощи устройства управления ключами УУК с некоторым гистерезисом, исключающим частое переключение вперед и назад. Когда ошибка рассогласования не превышает по модулю значение e_1, ключ Кл1 замкнут, ключ Кл2 разомкнут, и работает первая структура. Когда ошибка рассогласования превышает величину e_1, устройство УУК срабатывает, ключ Кл1 размыкается, ключ Кл2 замыкаются и работает вторая структура. Возвратное включение в работу первой структуры происходит при уменьшении ошибки рассогласования ниже порога e_2, причем $e_2 < e_1$. Пороги переключения e_1 и e_2 в дальнейшем будут определены.

II. Выбор цифрового регулятора для СПС

Для СПС (см. рис. 1), содержащей различные ОУ, выбраны следующие регуляторы. Для первой структуры использован оптимальный цифровой регулятор ЦР1, синтез которого осуществлен с применением известной методики [7]. Такой регулятор имеет предельный коэффициент усиления и способен в линейной зоне регулирования обеспечить максимальное быстродействие при детерминированных входных воздействиях. Для второй структуры выбран цифровой регулятор ЦР2, ранее синтезированный по новой методике [8]. Данный ЦР хорошо работает при наличии различных нелинейностей (в том числе люфт, насыщение, неуравновешенность нагрузки и др.) и способен с достаточным быстродействием отрабатывать различные входные воздействия, в том числе и произвольные. Для проверки работы СПС был выбран ОУ $G(s) = 4971,15[s(s+1,415)(s+48,54)]^{-1}$ и для него определены передаточные функции ЦР:

$W_1(z) = 4,44\frac{1-1,02z^{-1}+0,0823z^{-2}}{1+0,7295z^{-1}+0,0798z^{-2}}$, $h = 0,05c$;

$W_2(z) = 6,4236\frac{1-z^{-1}}{1-0,4925z^{-1}}$; $K_y = 3,4$, $h = 0,01c$.

Библиотека БГУИР

III. Моделирование работы САУ с различными ОУ

Для проверки работы СПС в среде Simulink пакета MATLAB были составлены две схемы моделирования (САУ1 и САУ2)[9], [10] и осуществлено моделирование их работы. САУ1 состоит из двух независимых систем управления, первая из которых выполнена по одноконтурной схеме и содержит в прямой цепи оптимальный цифровой регулятор $W_1(z)$; вторая система выполнена по двухконтурной схеме. Внутренний контур состоит из регулятора $W_2(z)$, включенного параллельно ОУ $G(s)$, и дополнительного усилителя K_y в прямой цепи, а внешний контур содержит единичную обратную связь. Следует заметить, что ЦР $W_1(z)$ рассчитан для линейного ОУ $G(s)$, и для лучшей работы САУ при отработке ступенчатых сигналов большой амплитуды на входе ЦР $W_1(z)$ установлен блок ограничения ($Saturation$) с порогом ограничения на уровне $u_2 \leq u_1/K_0 = 255/4,44 \approx 57$ дел, где u_1 – уровень насыщения ОУ, K_0 – коэффициент усиления ЦР $W_1(z)$. САУ2 является цифровой СПС, первая структура которой содержит ЦР $W_1(z)$, включенный последовательно ОУ $G(s)$, а вторая – ЦР $W_2(z)$, включенный параллельно ОУ $G(s)$ и реализующий гибкую обратную связь. Единичная обратная связь является общей для двух структур. Для переключения структур используется коммутирующее устройство, содержащее блок вычисления модуля (Abc), релейный блок с гистерезисом ($Relay$) и двухканальный переключатель ($Switch$). Результаты работы САУ1 и САУ2 при отработке ступенчатых воздействий различной амплитуды A приведены на рис. 2 и рис. 3. Результаты работы при отработке гармонических входных воздействий приведены в [11].

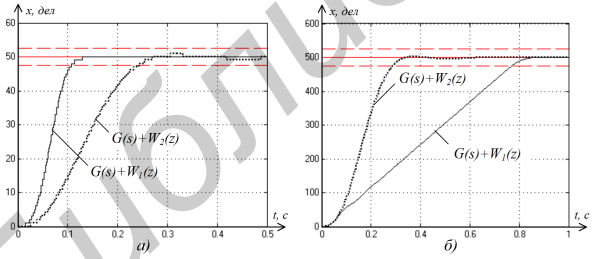

Рис. 2 – Переходные процессы САУ1: а)$A = 50$дел; б)$A = 500$дел

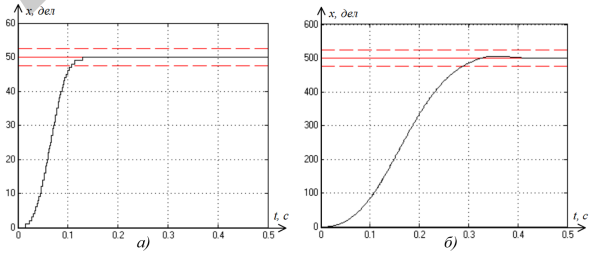

Рис. 3 – Переходные процессы САУ2: а)$A = 50$дел; б)$A = 500$дел

Анализируя результаты моделирования (см. рис. 2, 3), можно сделать вывод о том, что САУ с регулятором $W_1(s)$ отрабатывает ступенчатый сигнал амплитудой $A = 50$дел значительно быстрее (0,106 с против 0,245 с), чем с регулятором $W_2(s)$. При отработке ступенчатого сигнала амплитудой $A = 500$дел, САУ с регулятором $W_2(s)$ обеспечивает значительно лучшее, чем с регулятором $W_1(s)$ быстродействие (0,289 с против 0,77 с). САУ переменной структуры компромиссно хорошо отрабатывает ступенчатые сигналы различной амплитуды ($A = 50$дел, $A = 500$дел), обеспечивает близко апериодический переходной процесс и быстродействие (0,106 с, 0,289 с)

Заключение

Разработана структурная схема СПС, содержащая две структуры. С помощью математического моделирования осуществлена проверка работы СПС с различными ОУ и ЦР. Подтверждены компромиссно хорошее быстродействие САУ при отработке ступенчатых сигналов. Схема САУ переменной структуры является новой, отличается простотой и хорошим качеством работы. Полученные результаты доведены до инженерного уровня и могут быть успешно использованы при создании САУ, содержащих другие ОУ и ЦР, к качеству работы которых предъявляются различные, порой противоречивые требования.

1. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления. – М., 2004.
2. Шидловский С.В. Автоматическое управление. Перестраиваемые структуры. – Томск, 2006.
3. Rihter J.H. Reconfigurable Control of Nonlinear Dynamical Systems. – Berlin, 2011.
4. Kovacshazy T., Peceli G., Simon G. // IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conf. 2001. P. 1143–1147.
5. Konstantopoulos I.K., Antsaklis P.J. // 3rd Annual Conf. on Communications, Control and Computing. 1995. P. 69–78.
6. Лурье Б.Я., Энрайт П.Дж. Классические методы автоматического управления. – СПб., 2004.
7. Гостев В.И. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами: Справочник. – К., 1998.
8. Стрижнев А.Г., Хаджинов М.К., Русакович А.Н. // Доклады БГУИР. 2014. № 4 (82). С. 80-86.
9. Tewari A. Modern control design with MATLAB and Simulink, Weinheim, 2002.
10. Nuruzzaman M. Modeling and Simulation in Simulink for Engineers and Scientists, AuthorHouse, 2005.
11. Стрижнев А.Г., Русакович А.Н. // Наука и Техника. 2014. В печати.

Библиотека БГУИР