

Как видно из графика на рис. 1, при расчёте модели с оптимальными значениями управляющих параметров значения критерия ниже, чем при расчёте с неоптимизированными параметрами, а, следовательно, минимизируются потери целевых компонентов разделения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшов В.С., Алексеев М.В. Моделирование систем: учеб. пос. для студ. техвузов. Воронеж: ВГУИТ, 2012. 208 с.

УДК 681.5

Студ. В.Л.Алексеев, Е.Е. Лаврусик  
Науч. рук. доц. И.Ф. Кузмицкий, доц. Д.А. Гринюк  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

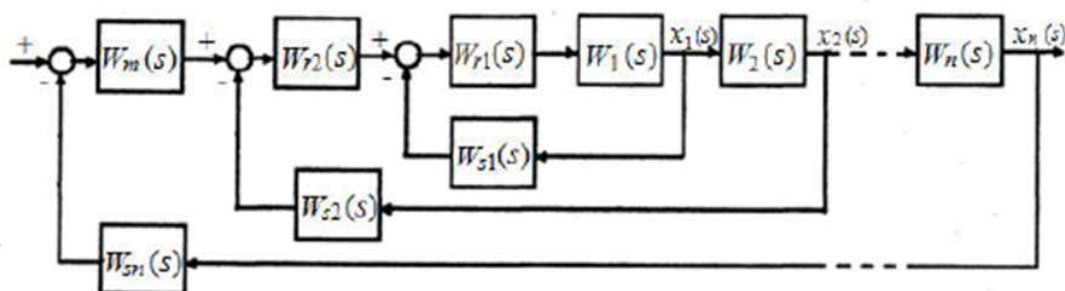
### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ПОДЧИНЁННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И САМООРГАНИЗАЦИИ**

Разработка способа совершенствования систем управления электроприводами на основе принципов подчиненного регулирования и самоорганизации имеет важное практическое значение. Метод подчиненного регулирования синтеза многоконтурных систем автоматического управления электроприводами имеет большое значение для теории и практики электроприводов постоянного и переменного тока. Разработанный еще в 50-х гг. XX в. сотрудником фирмы «Siemens» С. Kessler [1], этот метод в том или ином виде до сих пор применяется в большинстве реальных систем управления электроприводами. Подтверждено реальным опытом, что наиболее эффективным и перспективным направлением развития электропривода является использование регулируемого электропривода и развитие систем автоматизации. Новый этап развития науки об управлении сложными объектами, к которым относятся электроприводы, будет проходить успешно при одновременном развитии алгоритмического и программного обеспечения, элементной базы, аппаратных средств, измерительных комплексов.

Основные затраты при разработке систем управления современными электроприводами приходятся не на создание аппаратной части контроллера, а на разработку алгоритмического и программного обеспечения. В последние годы появились новые фундаментальные направления в теории и технике управления. К таким направлениям

можно отнести физическую теорию управления, синергетический подход к проблемам управления, оптимизацию систем с прогнозируемой моделью, теорию самоорганизующихся регуляторов с экстраполяцией (СОРЭ), теорию нечетких и нейросетевых систем управления и др.

Обратимся к методу подчиненного регулирования. Структурная схема многоконтурной системы подчиненного регулирования представлена на рис. 1;



**Рисунок 1 – Структурная схема многоконтурной системы подчиненного регулирования:  $W_n(s)$  - передаточная функция (ПФ)  $n$ -объекта:  $W_1(s)$  - ПФ 1-го объекта:  $W_2(s)$  - ПФ 2-го объекта:  $W_n(s)$  - ПФ  $n$ -го объекта:  $W_{r1}(s)$  - ПФ 1-го регулятора;  $W_2(s)$  - ПФ 2-го регулятора;  $W_{s1}(s)$  - ПФ 1-го датчика;  $W_{s2}(s)$  - ПФ 2-го датчика:  $W_{sn}(s)$  - ПФ  $n$ -го датчика**

Структура многоконтурной системы, как известно, формируется по следующим правилам[1, 4]: объект регулирования разбивается на ряд динамических звеньев таким образом, чтобы выходными переменными всех звеньев были физические величины, представляющие интерес с позиций автоматического регулирования.

Построение структурной схемы системы начинается с самого внутреннего контура, включающего в себя некомпенсируемую часть объекта и следующее за ним типовое звено компенсируемой части. Для выходной переменной первого компенсируемого звена строится замкнутый контур регулирования с последовательным корректирующим звеном – регулятором. Затем по порядку замыкаются контуры регулирования для выходных переменных всех последующих звеньев компенсируемой части объекта – каждый со своим регулятором, при этом обратные связи не перекрещиваются, а регуляторы соединяются последовательно так, что выходной сигнал регулятора каждого внешнего контура является задающим воздействием для внутреннего. Определение типа и расчет параметров регулятора в каждом из контуров осуществляется также последовательно, начиная с самого внутреннего, в со-

ответствии со стандартными настройками. Для синтеза последовательных корректирующих звеньев в простейших линеаризованных контурах регулирования, где компенсируемая часть объекта управления представляет собой одно из перечисленных выше инерционных типовых звеньев, используются хорошо себя зарекомендовавшие на практике модели желаемой динамики, называемые «модульный» и «симметричный оптимум». Основной особенностью подчиненного регулирования является то, что каждый контур имеет помимо обратной связи еще и регулятор – получается комбинированная коррекция (последовательная (регулятор) и параллельная (обратная связь)), т. е. несколько одноконтурных систем регулирования и внутренние контуры подчиняются внешним (отсюда и название метода.)

Следовательно, метод подчиненного регулирования имеет определенные ограничения, связанные прежде всего с использованием линеаризованных моделей объектов, видом структурных схем и применяемой их декомпозицией, используемыми стандартными настройками. Вследствие этого современная практика нуждается не только в алгоритмах систем управления электроприводами с настройками на модульный (технический) и симметричный оптимумы, но и в адаптивных оптимальных алгоритмах автоматического управления и обработки информации. Автоматизированные электроприводы с адаптивными свойствами позволяют существенно расширить диапазоны условий применения электроприводов и повысить их эффективность.

Из всех известных методов синтеза адаптивных оптимальных управлений наиболее эффективными в практическом применении к сложным нелинейным системам являются методы теории самоорганизующихся адаптивных регуляторов (АР) с экстраполяцией [2, 3]. Самоорганизующийся АР приспосабливается достаточно быстро к самым различным объектам, включая нестационарные и нелинейные. Для адаптивных регуляторов традиционных классов это недоступно. Главное отличие новых АР от традиционных заключается в том, что осуществляется оптимизация на коротком интервале времени (оптимизация на очередной малый цикл или несколько таких циклов). Такая оптимизация делает поведение объекта предсказуемым посредством универсального способа экстраполяции. Границы применимости нового класса АР еще не определены, но есть основание считать, что они широкие. Экстраполяция наиболее важных сигналов и оценивание производных позволит применять самоорганизующиеся наблюдатели для диагностики, реконфигурации, сигнализации, идентификации.

В работе [5] предложены подход и методика синтеза адаптивной на принципах самоорганизации одноконтурной системы управления

электроприводом. Утверждается, что такая адаптивная система имеет возможность быстрой самоорганизации контуров управления в условиях аварийных нештатных ситуаций.

Таким образом, основной особенностью правила формирования структуры системы подчиненного регулирования, как указано, является то, что каждый контур имеет, помимо обратной связи, еще и конкретный регулятор. Учитывая это правило формирования структуры многоконтурной системы методом подчиненного регулирования и возможности СОРЭ, появляется возможность совместного использования принципов подчиненного регулирования и самоорганизации для синтеза многоконтурных систем управления с новыми адаптивными свойствами путем следующего правила формирования их структуры: регулятор последнего (внешнего) контура в системе подчиненного регулирования необходимо использовать только с самоорганизующимися алгоритмами, т. е. СОРЭ (при этом все предыдущие внутренние контуры образуют обобщенный объект). Внутренние контуры могут быть трех типов:

– *первый тип* – контуры с регуляторами и их стандартными и другими настройками, применяемыми для ограничения переменных и т. д.;

– *второй тип* – контуры с произвольными нелинейными, нестационарными элементами и структурой;

– *третий тип* – с отдельными контурами, как с регуляторами и их стандартными настройками, так и с произвольными нелинейными, нестационарными элементами и структурой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Панкратов В. В. Автоматическое управление электроприводами. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 200 с.
2. Красовский А. А. Адаптивный оптимальный регулятор с переменным порядком наблюдателя и временем экстраполяции // *АиТ*. 1994. № 11. С. 97–112.
3. Красовский А. А. Избранные труды. Самые ранние. Самые новые. М.: Наука, 2003. 614 с.
4. Шрейнер Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Екатеринбург: РГПУ, 2008. 279 с.
5. Мин Хеин. Адаптивная, с высоким уровнем искусственного интеллекта, система управления судовым электроприводом // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология*. 2016. № 2. С. 95–101.
6. Туркин И. И., Быков Э. Б. Самоорганизующиеся системы

управления сложных технических объектов // Индустрия. 2005. № 1. С. 2–3.

7. Туркин И. И. Самоорганизующиеся системы управления сложными судовыми техническими средствами // Морские интеллектуальные технологии. 2008. № 1. С. 66–68.

8. Туркин И. И., Кирюхин С. Н. Экспериментальная проверка работоспособности и эффективности адаптивной на принципах самоорганизации системы автоматического управления // Материалы 23-й межвуз. науч.-техн. конф. «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы», СПб: 2012. Ч. 3. С. 209–215.

УДК 681.5

Студ. В.Ю. Козловский, А. М. Шилин

Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк, ст. преп. В.В. Лихавицкий  
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

### **ВАРИАНТЫ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ КОНТУРАМИ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Назначение регуляторов электроприводов состоит в том, чтобы путем обеспечения выполнения требований к исполнительной электромеханической системе по точности, устойчивости и качеству переходных процессов достигнуть цели управления. Обстоятельствами, усложняющими выбор структуры и параметры регуляторов приводов электромеханических систем, являются наличием внешних и внутренних силовых воздействий и позиционных силовых связей, погрешности преобразователей информации, используемых для создания корректирующих обратных связей.

Одним из способов реализации средств коррекции электромеханических систем является использование принципа построения подчиненных контуров регулирования. В этом случае регулятор электропривода образуется из нескольких вложенных друг в друга контуров управления. Преимущество такого подхода состоит в том, что контуры регулирования можно настраивать по очереди: сначала внутренний, затем – внешний. Настроенный внутренний контур выступает в роли объекта управления для регулятора внешнего контура.

Чтобы обеспечить измерение скорости, тахометр, сигнал которого пропорционален скорости, устанавливается непосредственно на вал двигателя. Установленное значение  $\omega^*$  (желаемая скорость) непрерывно сравнивается с фактическим значением в системе управления. Определенная таким образом разность скоростей используется регулято-