

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Оренбургский государственный университет

Кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики
и электротехники

П.А. Воронин

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ И СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург
2018

УДК 68-83 (07)
ББК 31.291я 7
В 75

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С.В. Митрофанов

Воронин П.А.

В 75

Адаптивные системы управления в электроприводах и системах автоматизации: методические указания / П.А. Воронин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 47 с.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, изучающих дисциплину «Регулирование координат в электроприводах» очной и заочной форм обучения.

УДК 68-83 (07)
ББК 31.291 я 7

© Воронин П.А., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

1 Общие положения	4
2 Классификация адаптивных систем управления	8
3 Принципы построения самонастраивающихся беспоисковых систем. Варианты исполнения беспоисковых адаптивных систем автоматизированного электропривода	11
3.1 Системы с внутренними обратными связями	12
3.2 Системы с адаптивным регулятором тока	13
3.3 Системы с эталонными моделями	16
3.4 Адаптивные системы управления со стабилизацией частотных и временных характеристик	18
3.5 Электроприводы металлорежущих станков с адаптивным управлением	19
4 Принципы построения поисковых самонастраивающихся систем. Системы с адаптацией в особых фазовых состояниях	21
4.1 Релейные автоколебательные системы управления	23
4.2 Адаптивные системы электропривода с переменной структурой	28
4.3 Автоматическая настройка параметров регулятора скорости частотно-регулируемого асинхронного привода с использованием фаззи-логики	29
4.4 Адаптивные системы оптимального управления технологическим процессом .	33
5 Обучающиеся системы. Краткий обзор	36
5.1 Основы теории нейронных сетей	38
5.2 Нейросетевая индентификация электропривода постоянного тока	41
5.3 Некоторые варианты построения нейросетевого управления	44
Выводы	45
Список использованных источников	46

1 Общие положения

Технические характеристики регулируемых электроприводов производственных механизмов зависят от структуры приводов и способов управления электродвигателями. Нестационарность характеристик приводов зависит от свойств рабочих механизмов в процессе эксплуатации, условий эксплуатации и характеристик элементов силового канала электропривода.

Изменение параметров силового канала электропривода как объекта управления (ОУ) происходит вследствие изменения следующих основных величин:

- параметров электромагнитных контуров в цепи «преобразователь - двигатель»,
- передаточных коэффициентов преобразователей,
- магнитного потока возбуждения электродвигателей при двухзонном регулировании скорости,
- моментов инерции рабочих механизмов,
- значительных изменений по составу и интенсивности возмущающих и управляющих воздействий.

Расчет управляющих устройств классическими методами обеспечивает требуемую точность, если модель объекта управления и условия функционирования электромеханической системы абсолютно известны. Неопределенность математической модели порождается линеаризацией нелинейных уравнений динамической системы, а также параметрической неопределенностью. Регулятор, обеспечивающий устойчивость системы, может обеспечить заданную точность только при ограниченном диапазоне вариаций характеристик ОУ и условий его функционирования.

Все перечисленное может приводить к существенному увеличению динамических и статических ошибок электромеханических систем и необходимости перенастройки параметров регуляторов для минимизации этих ошибок. Особо чувствительны к изменению параметров объекта управления системы электропривода с подчиненным регулированием координат, в которых настройка основывается на

принципе компенсации больших постоянных времени элементов объекта управления.

В системах автоматизированного электропривода используют так называемые стандартные настройки (на технический оптимум, симметричный оптимум) контуров регулирования, определяющие статические и динамические свойства системы.

Анализ динамических свойств замкнутого контура регулирования по ЛАЧХ разомкнутого контура (рисунок 1) позволяет оценить качество регулирования выходной координаты контура и наглядно проследить зависимость показателей качества выходной координаты от величин параметров ОУ, отличных от расчетных.

Вид частотной характеристики разомкнутого контура, величина частоты среза определяют характер переходных процессов (быстродействие, перерегулирование и т.д.). ЛАЧХ с частотой среза ω_c соответствует настройке замкнутого контура регулирования на технический оптимум, при которой перерегулирование меньше 5 %, а время первого согласования выходной координаты определяется равенством

$$t_c = \frac{4,7}{2\omega_c}.$$

При постоянстве параметров регулятора и отклонении коэффициента передачи ОУ в сторону увеличения (рисунок 1, верхняя ЛАЧХ) перерегулирование и колебательность выходной координаты замкнутого контура возрастают, время первого согласования уменьшается. При отклонении коэффициента передачи ОУ в сторону уменьшения (рисунок 1, нижняя ЛАЧХ) перерегулирование выходной координаты замкнутого контура уменьшается, время первого согласования увеличивается.

Схожая картина наблюдается и при изменении постоянных времени объекта управления.

Если при изменении параметров в объекте так изменять параметры регуляторов, чтобы вид частотных характеристик не изменился, то переходные процессы будут инвариантны при изменении параметров объекта.

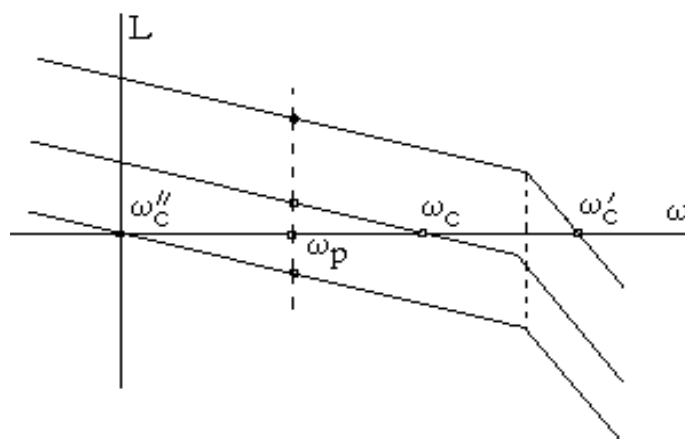


Рисунок 1 – Логарифмические амплитудные частотные характеристики разомкнутого контура регулирования при разных значениях коэффициента передачи объекта управления

Оценить изменение ЛАЧХ можно, контролируя коэффициент усиления на какой-то частоте ω_p (тестовой частоте). Обычно в качестве тестовой частоты берут частоту среза ω_c разомкнутой ЛАЧХ оптимизированного на расчетный оптимум контура системы.

Если параметры объекта меняются существенно (в 1,5 и более раз), то оптимальность переходных процессов может быть получена за счет изменения структуры регуляторов, а в некоторых случаях за счет изменения всей структуры регулирования. Существенное изменение параметров в системе автоматизированного электропривода постоянного тока имеет место, например, при изменении режима работы управляемого тиристорного выпрямителя при переходе из режима непрерывного тока в режим прерывистого тока.

Совокупность методов теории управления, позволяющих синтезировать системы управления, допускающие изменение параметров регулятора или структуры регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления, называется адаптивным управлением, а системы управления называются адаптивными.

Процесс проектирования системы управления предполагает наличие, во-первых, цели управления, а во-вторых, априорной информации об объекте управления и о характере действующих на него возмущений. Все системы управления, построенные с использованием априорной информации, достаточной для достижения цели управления, относятся к неадаптивным, или традиционным, системам управления независимо от реализуемого принципа управления, структуры электропривода.

Если же объем располагаемой априорной информации о свойствах объекта не может обеспечить достижения сформулированной цели управления с заданными показателями качества регулирования, то речь должна идти об адаптивных системах управления. Таким образом, к адаптивным следует относить лишь такие системы управления, которые предназначены для функционирования в условиях априорной неопределенности и которые в процессе функционирования автоматически приспосабливаются к непредвиденным изменениям свойств объекта управления и внешней среды.

Адаптивные системы более универсальны, чем неадаптивные. Они позволяют сократить сроки проектирования, наладки и испытаний, обеспечить управление новыми, мало изученными технологическими процессами и объектами.

Обобщенная структурная схема адаптивного электропривода [3] представлена на рисунке 2, где приняты обозначения:

БАУ – блок адаптивного управления;

БОИ – блок обработки информации;

АЭП – автоматизированный электропривод;

БППР – блок перестройки параметров регулятора;

X, f – внешние управляющий и возмущающий сигналы

Основные задачи, решаемые адаптивными системами управления:

- При произвольном изменении параметров объекта необходимо так изменять параметры регулятора, чтобы сохранялась оптимальная настройка системы (в этом случае предполагают, что система была оптимизирована, и эта настройка сохранилась бы). Эта задача решается в беспойсковых адаптивных системах.

- При начальном отсутствии информации о параметрах объекта и воздействиях на систему необходимо производить поиск оптимальных режимов работы. Эта задача решается в поисковых адаптивных системах управления.

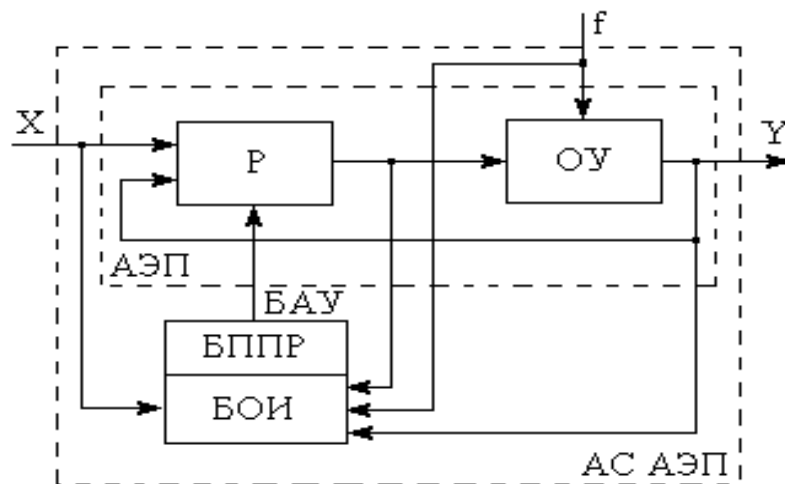


Рисунок 2 - Обобщенная структурная схема адаптивного привода

2 Классификация адаптивных систем управления

Поскольку адаптивные системы широко используют рабочую информацию для анализа динамического состояния электромеханической системы и организации контролируемых изменений свойств, параметров, управляющих воздействий и структуры системы управления, то в зависимости от способов реализации контролируемых изменений в процессе нормальной эксплуатации системы можно привести следующую классификацию адаптивных систем (рисунок 3) [8]:

- самонастраивающиеся системы (СНС),
- системы с адаптацией в особых фазовых состояниях,
- обучающиеся системы.

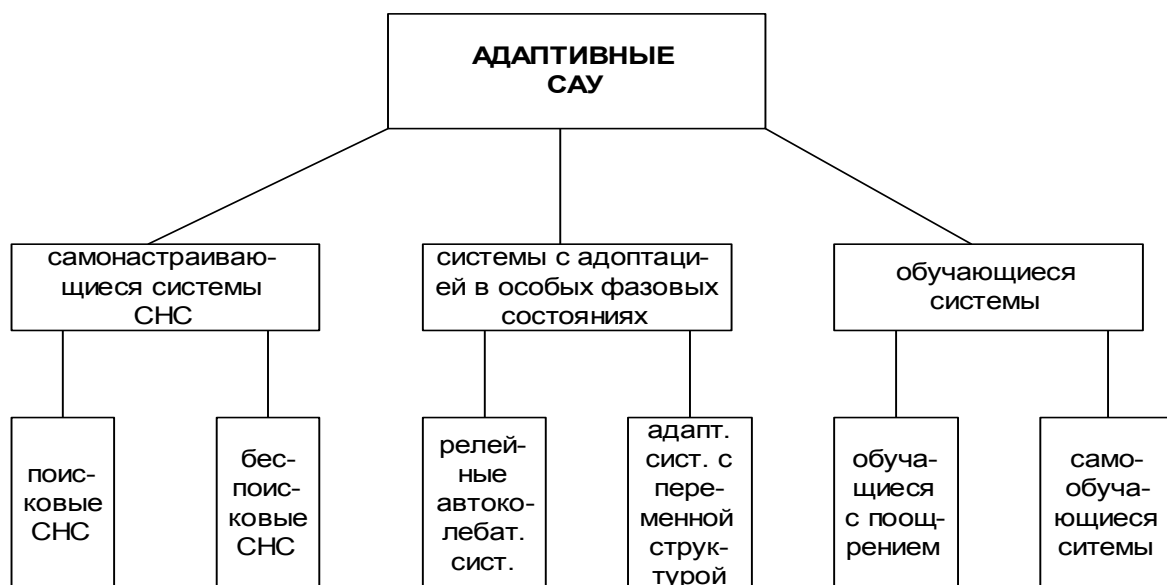


Рисунок 3 – Классификация адаптивных систем автоматического управления

Самонастраивающиеся системы (СНС) характеризуются наличием специальных контуров самонастройки, с помощью которых оцениваются динамические и статические свойства системы и формируются такие контролируемые воздействия, что система самопроизвольно приближается к определённому эталону, часто задаваемому математически в виде критерия качества функционирования. При этом контур самонастройки служит для изменения параметров или структуры основного контура с целью обеспечения заданного критерия качества управления. Обычно критерий качества управления выражается в виде функционала или функции от параметров и измеряемых координат системы. В процессе работы системы значение функционала качества изменяется и задача контура самонастройки сводится к обеспечению экстремального (минимального или максимального) значения критерия. Нахождение и поддержание экстремального значения критерия качества управления может производиться или с помощью пробных отклонения системы, или путём аналитического определения условий экстремума. В зависимости от указанных способов нахождения экстремума самонастраивающиеся системы подразделяются на поисковые и беспоисковые. В свою очередь поисковые самонастраивающиеся системы

в зависимости от применяемых методов поиска делятся на системы со случайным поиском, с поиском по методу Гаусса-Зейделя, с поиском по методу градиента, с поиском по методу наискорейшего спуска. В классе беспойсковых СНС можно выделить самонастраивающиеся системы, использующие информацию о частотных характеристиках, СНС с контролем временных характеристик и границ устойчивости, СНС с эталонными моделями, градиентные СНС.

Системы с адаптацией в особых фазовых состояниях используют особые режимы или свойства нелинейных систем, например режимы автоколебаний, скользящие режимы для организации контролируемых изменений динамических свойств системы управления. Специально организованные особые режимы в таких системах либо служат дополнительным источником рабочей информации об изменяющихся условиях функционирования системы, либо наделяют систему управления новыми свойствами, за счёт которых динамические характеристики управляемого процесса поддерживаются в желаемых пределах не зависимо от характера возникающих при функционировании изменений. Эти системы можно подразделить на релейные автоколебательные системы и адаптивные системы с переменной структурой.

Обучающиеся системы управления характеризуются наличием специальных процессов обучения, которые заключаются в постепенном накапливании, запоминании и анализе информации о поведении системы и изменении законов функционирования в зависимости от приобретаемого опыта.

К процессу обучения приходится прибегать тогда, когда не только мал объём априорных сведений об объекте, но и отсутствует возможность установления детальных причинно-следственных связей в структуре самой системы из-за её сложности.

Накопление и обобщение информации в процессе обучения можно осуществлять за счёт внесения “эталонного опыта” в систему извне, либо путем формирования такого опыта внутри системы. Например, в первом случае обучаемой системе предъявляют последовательность ситуаций, образов или режимов, которые имеют заранее известные характеристики или различаются по принадлежности определённым классам. Поведение системы в ответ на такую обучающую последовательность

ситуаций формируют на основе принципа “поощрение-наказание”, т.е. правильная реакция системы на предъявленную ситуацию запоминается и используется для организации контролируемых изменений динамических свойств системы управления. В зависимости от способов накопления опыта указанные системы разделяют на обучающиеся с поощрением и обучающиеся без поощрения (самообучающиеся) системы.

3 Принципы построения самонастраивающихся беспойсковых систем. Варианты исполнения беспойсковых адаптивных систем автоматизированного электропривода

Самонастраивающиеся беспойсковые системы обладают существенным преимуществом по сравнению с поисковыми системами в отношении быстродействия, поскольку в них отсутствуют процессы поиска, замедляющие работу системы. Кроме того, поисковые движения, как правило, создают заметные возмущения для работы основного контура. Часто такие возмущения становятся недопустимыми по конструктивным соображениям, например, поисковые колебательные возмущения могут преждевременно выводить из строя исполнительные механизмы системы управления.

Однако беспойсковые самонастраивающиеся системы, так же как и поисковые, решают аналогичную задачу адаптации динамических характеристик системы в условиях изменения меры качества под воздействием управляющих, параметрических и внешних возмущений. Беспойсковое определение условий экстремума функционала качества позволяет получить темп процесса адаптации, соизмеримый с темпом переходных процессов в системе.

В беспойсковых системах используют несколько различных принципов аналитического определения условий экстремума, которые базируются на компенсационных подходах, например принцип инвариантности или сравнения с эталонной моделью, либо на идентификационных подходах, позволяющих определять связан-

ные с функционалом качества параметры или характеристики управляемого процесса.

3.1 Системы с внутренними обратными связями

Беспоисковые адаптивные системы решают первую задачу сохранения оптимальности настройки системы. Решение задачи в ряде случаев может быть выполнено достаточно простыми приемами компенсации изменяющихся параметров применением, например, внутренних обратных связей, охватывающих часть структуры объекта управления (ОУ) с нестационарными параметрами в виде изменяющегося коэффициента передачи или нелинейности характеристики «вход - выход» (рисунок 4).

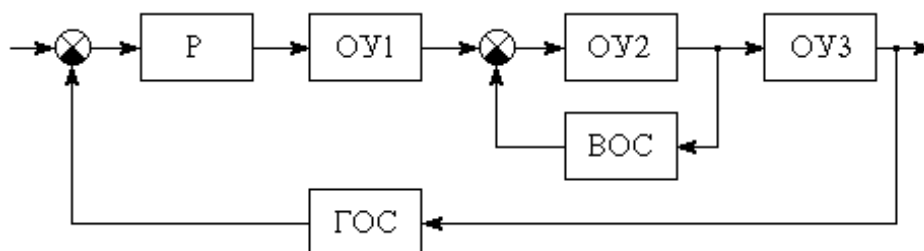


Рисунок 4 – Адаптивная система с внутренней обратной связью

На рисунке 4 приняты обозначения: ВОС – внутренняя обратная связь, ГОС – главная обратная связь, Р – регулятор.

Обязательным условием работоспособности такой системы является более высокое быстродействие контура внутренней обратной связи по отношению контуру главной обратной связи.

Пример 3.1.1 – Система с внутренним контуром напряжения в тиристорном ЭП постоянного тока, с помощью которого линеаризуется характеристика тиристорного преобразователя ОУ2 (рисунок 4). Пусть коэффициент передачи K_2 элемента ОУ2 изменяется от $K_{2\max} = 200$ до $K_{2\min} = 100$ (диапазон изменения коэффициента пе-

редачи $D = 2$). При введении внутренней обратной связи ВОС с коэффициентом передачи $K_{\text{вос}} = 0,1$ получаем:

$$K_{2\text{max}} = \frac{200}{200 \times 0,1 + 1} = 9,52,$$

$$K_{2\text{min}} = \frac{100}{100 \times 0,1 + 1} = 9,09.$$

В результате диапазон изменения коэффициента передачи элемента ОУ2 снижается до значения $D = 1,05$. Уменьшение коэффициента передачи элемента ОУ2 легко компенсировать соответствующим увеличением коэффициента передачи регулятора Р.

3.2 Системы с адаптивным регулятором тока

Существенное изменение параметров в автоматизированном тиристорном электроприводе постоянного тока имеет место при изменении режима работы тиристорного преобразователя при переходе из режима непрерывного тока в режим прерывистого тока.

В РПТ имеет место резкое снижение коэффициента передачи по току тиристорного преобразователя, когда ток I_d нелинейно зависит от управляющего сигнала U_y :

$$K_{yB} = \frac{dI_d}{dU_y}$$

Инерционность якорной цепи, существенная в режиме непрерывного тока (РНТ), практически не проявляется в режиме прерывистого тока (РПТ), то есть электромагнитная постоянная времени якорной цепи T_α стремится к нулю. В электроприводе с подчиненным регулированием координат это приведет к нарушению

настройки контуров регулирования вплоть до потери работоспособности системы в целом.

Эффективным способом построения адаптивного контура тока является включение нелинейного звена (НЗ) последовательно с регулятором тока, коэффициент передачи которого изменяется обратно пропорционально изменению коэффициента передачи по току цепи «Тиристорный преобразователь – якорная цепь». Благодаря этому коэффициент передачи контура тока остается неизменным в переходных процессах и в РНТ, и в РПТ.

Структурная схема контура тока с адаптивным регулятором тока электроприводов постоянного тока с однозонным регулированием скорости типов ЭТУ 3601(трехфазный) и БУ 3609 (однофазный) представлена на рисунке 5, где приняты обозначения:

АРТ – адаптивный регулятор тока;

РТ – ПИ-регулятор тока;

НЗ – нелинейное звено;

ФПЭ – функциональный преобразователь эдс двигателя;

УВ – управляемый тиристорный выпрямитель;

ЯЦ – якорная цепь двигателя;

ДТ – датчик тока;

$U_{з.т}$ – напряжение задания тока якоря двигателя;

I_d – ток якоря;

Ω - частота вращения двигателя.

Для обеспечения постоянства коэффициента усиления управляемого выпрямителя в режиме непрерывного и прерывистого токов в канал регулирования введено нелинейное звено (НЗ) с характеристикой, обратной регулировочной характеристике управляемого выпрямителя в режиме прерывистого тока.

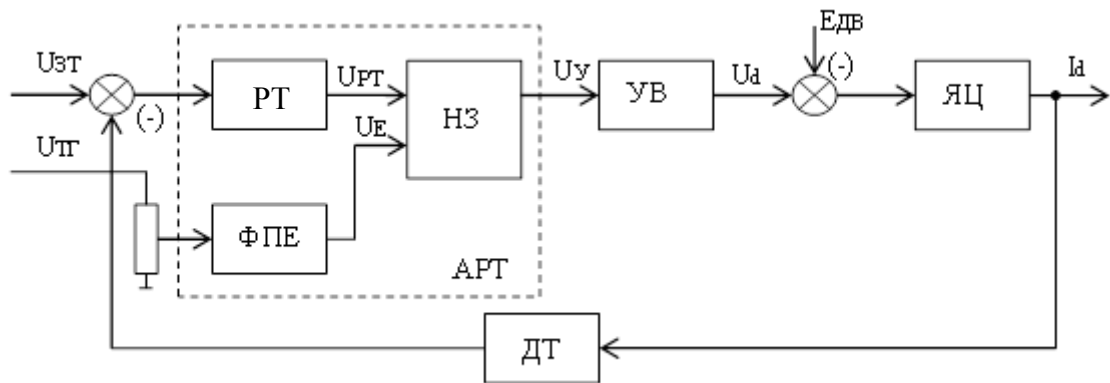


Рисунок 5 – Структурная схема контура регулирования тока

Напряжения на входах НЗ представляют собой сигналы, пропорциональные величине задания тока $U_{рТ}$ и ЭДС двигателя $U_{е}$.

Для оптимизации переходных процессов в РПТ необходима корректировка выходного сигнала ПИ-регулятора тока РТ в функции тока якоря и ЭДС двигателя. Это выполняется без перестройки параметров типового РТ, настроенного на технический или симметричный оптимум в режиме непрерывного тока.

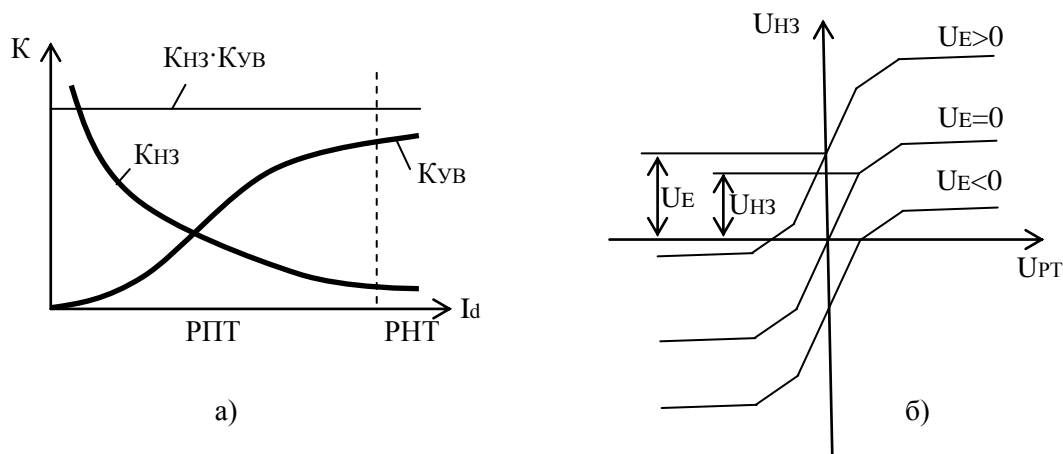


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости коэффициентов передачи от режима работы (а) и регулировочная характеристика нелинейного звена (б)

Результирующий коэффициент передачи по току звеньев «НЗ – УВ» не зависит от режима тока и является величиной постоянной (рисунок 6а):

$$K_{нз} \times K_{ув} = \text{const.}$$

Сигнал, пропорциональный ЭДС двигателя U_e , формируется с помощью функционального преобразователя ЭДС (ФПЕ), имеющего арксинусную характеристику и представляет собой положительную обратную связь по ЭДС двигателя.

При соответствующей настройке канала положительной обратной связи по ЭДС двигателя полностью компенсируется внутренняя отрицательная обратная связь по ЭДС двигателя, и сигнал $U_{рт}$ становится пропорциональным только току двигателя. Ограничение его максимального уровня обеспечивает ограничение максимальной величины составляющей выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя. Таким образом, выходное напряжение НЗ (выход адаптивного регулятора тока) равно:

$$U_{нз} = U_y = K_{нз} \times U_{рт} + U_e.$$

Выходной сигнал нелинейного звена, определяющий ток и ЭДС двигателя (рисунок 6б), поступает в СИФУ тиристорного преобразователя. Этот сигнал является управляющим для СИФУ и задает угол регулирования α , определяющий выпрямленное напряжение преобразователя

$$U_d = E_{дв} + I_d \cdot R_{я}.$$

3.3 Системы с эталонными моделями

Эталонные модели в явном или в неявном видах присутствуют во всех адаптивных системах. В качестве эталонных моделей могут быть использованы модели звена, разомкнутой системы, замкнутой системы. Системы, в которых модели при-

существуют в явном виде, называются системами с эталонными моделями. Их структуры представлены на рисунке 7 и рисунке 8, где приняты обозначения: W_M – модель замкнутой системы; W_K – корректирующее звено блока адаптивного управления.

В случае, когда параметры объекта являются расчетными, фактический сигнал системы Y и желаемый сигнал модели Y_M будут совпадать, и поэтому сигнал с корректирующего звена не изменяется. При изменении параметров в объекте фактический сигнал будет отличаться от желаемого, что будет приводить к формированию такого сигнала на выходе корректирующего звена, который изменит параметры регулятора (рисунок 7) или, алгебраически суммируясь с сигналом регулятора, формирует воздействие на объект, при котором фактический сигнал Y будет приближаться к желаемому (рисунок 8).

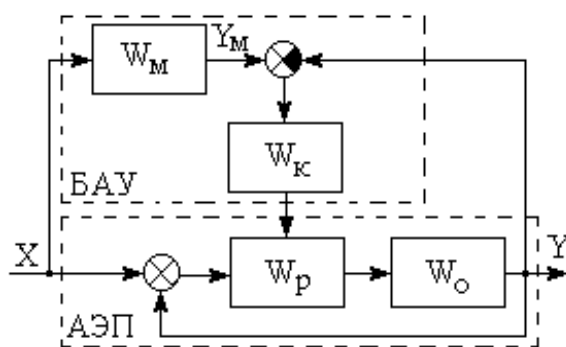


Рисунок 7 – Электропривод с параметрической адаптацией

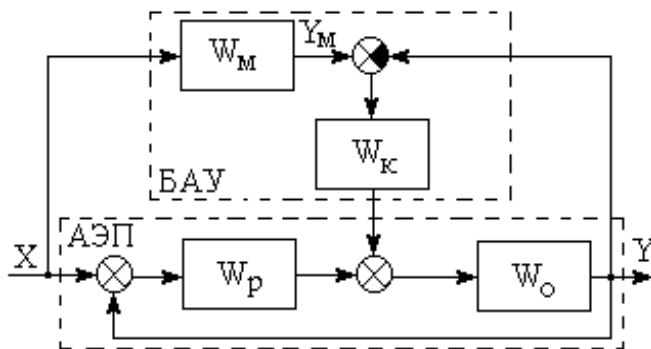


Рисунок 8 – Электропривод с сигнальной адаптацией

Передаточная функция такой замкнутой системы независимо от изменения параметров объекта стремится к передаточной функции модели, поэтому переходные процессы по управляющему воздействию X будут оптимальными и стабилизированными, т.е. не будут изменяться при изменении параметров объекта.

3.4 Адаптивные системы управления со стабилизацией частотных и временных характеристик

Адаптивная система с самонастройкой по значению амплитудной характеристики на частоте среза представлена на рисунке 9, где приняты обозначения [3]: W_M – передаточная функция модели разомкнутой системы; Φ – узкополосные фильтры, выделяющие сигнал тестовой частоты (рисунок 10); BM – выявитель модуля; W_K – передаточная функция корректирующего звена (интегратора), АЭП - автоматизированный электропривод, БАУ – блок адаптивного управления.

Входной сигнал описывается уравнением

$$X = U_{\text{зад}} + U_0 \sin \omega_0 t,$$

где $U_{\text{зад}}$ – полезный сигнал;

$U_0 \sin \omega_0 t$ – готовый сигнал малой амплитуды. U_0 берется в виде доли процента от величины полезного сигнала $U_0 = (10^{-4} - 10^{-5}) U_{\text{зад}}$;

$\omega_0 = \omega_C$ – тестовая частота (частота среза разомкнутого контура).

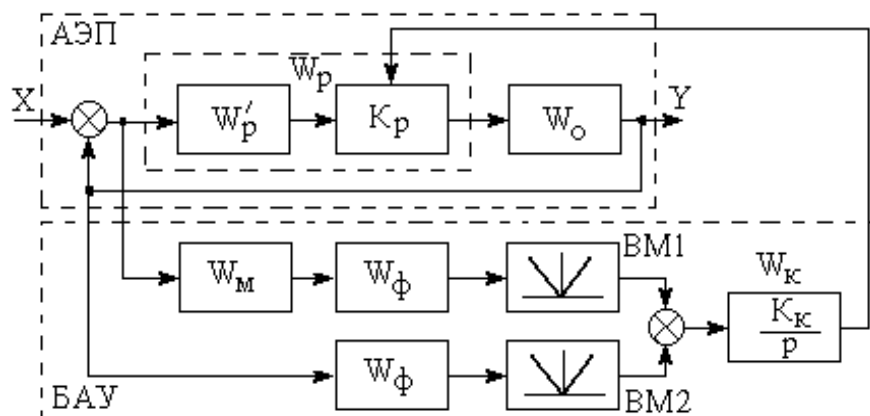


Рисунок 9 - Структурная схема адаптивной системы управления со стабилизацией частотных характеристик по частоте среза разомкнутой системы

Если система работает в расчетной точке, то сигналы с модели и фактический сигнал равны. Поэтому на вход корректирующего звена поступает ноль, что определяет расчетный коэффициент усиления регулятора. Если коэффициент в объекте уменьшился, то фактический выходной сигнал контура Y стал меньше сигнала модели Y_M , на входе корректирующего звена появляется положительный сигнал, который должен вызвать увеличение коэффициента усиления регулятора. Увеличение коэффициента регулятора будет идти до тех пор, пока фактический сигнал контура не будет равен сигналу с модели. В этом случае на входе корректирующего звена будет опять ноль, а на выходе будет сигнал, который соответствует новому значению коэффициента регулятора. Корректирующее звено интегрального типа и обладает свойством памяти.

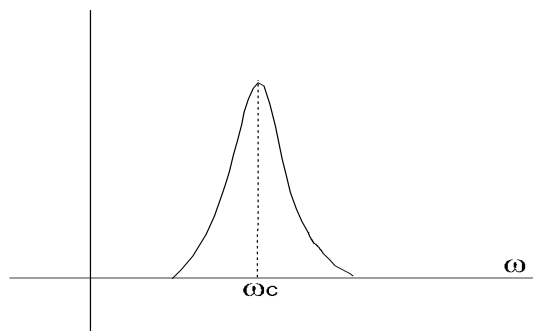


Рисунок 10 – Характеристика узкополосного фильтра

3.5 Электроприводы металлорежущих станков с адаптивным управлением

В настоящее время под системой адаптивного управления металлорежущего станка понимают комплекс технических и программных средств, обеспечивающих автоматическое управление процессом обработки в соответствии с поставленной целью.

Одним из требований при создании станков – модулей гибких производственных систем (ГПС) является обеспечение коррекции режимов работы оборудования для повышения эффективности обработки и защиты станков от перегрузок и

аварийных ситуаций. Эта задача решается путем применения адаптивных систем управления электроприводами станков, в которых в процессе обработки ведется активный контроль силовых параметров, прямо или косвенно характеризующих процесс, сравнение их с уставками (заданными значениями, чаще с предельными) и изменение режимов в соответствии с выбранной стратегией [18].

По своему назначению адаптивные системы металлорежущих станков подразделяются на технологические, точностные и комплексные.

Задача технологических адаптивных систем – регулирование параметров процесса обработки (подачи, скорости резания и т. п.) по выбранному критерию.

Задача точностных адаптивных систем – автоматическая коррекция управляющей программы перемещения узлов станка с учетом статических и динамических погрешностей системы «станок – приспособление – инструмент - деталь» (СПИД) для достижения требуемой точности обработки деталей.

Основным путем оптимизации черновой и получистовой обработки является обеспечение предельных режимов обработки. Более простые адаптивные системы граничного управления поддерживают значение параметра технологического процесса (скорости резания, мощности или усилия резания, температуры в зоне резания и пр.) на предельно возможном уровне. Это повышает производительность процесса за счет сокращения машинного времени, увеличения стойкости инструмента и улучшения качества обработки поверхности. Задача управления технологическим процессом сводится к схемной реализации беспойсковой адаптивной системы управления электроприводом станка.

На рисунке 11 представлена структурная схема технологической беспойсковой адаптивной системы управления электроприводом поперечной подачи внутришлифовального станка. Адаптивное управление реализовано на базе циклового программного управления (ЦПУ) процессом шлифования.

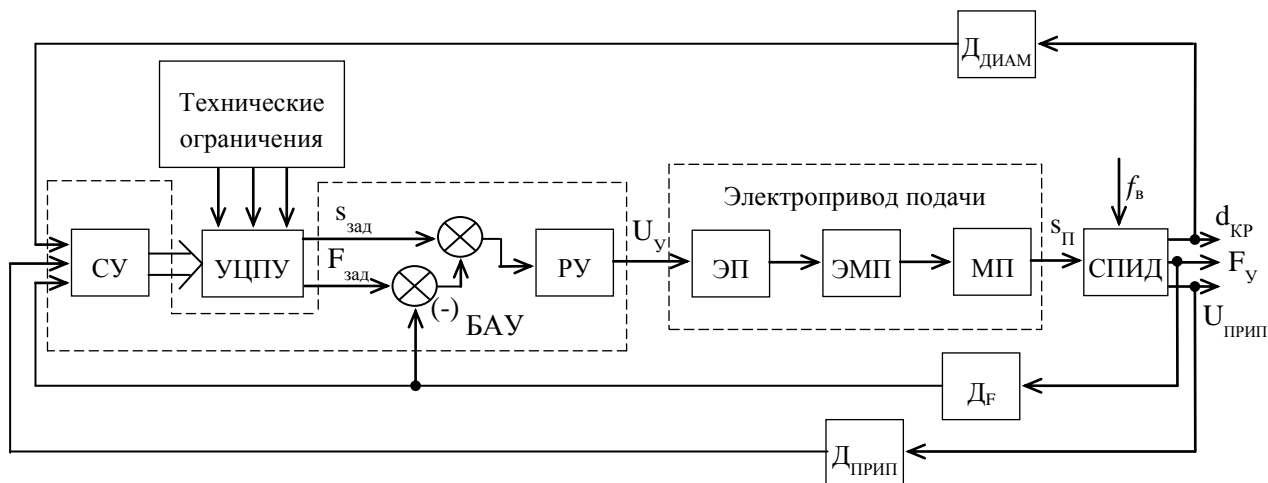


Рисунок 11 - Структурная схема беспойсковой адаптивной системы управления электроприводом поперечной подачи внутришлифовального станка

Система поддерживает предельное значение усилия поперечной подачи F_y при переменном припуске заготовки $U_{\text{прип}}$ и уменьшающемся диаметре шлифовального круга $d_{\text{кр}}$. Устройство циклового программного управления (УЦПУ) станка формирует уставки задания поперечной подачи $s_{\text{зад}}$ и предельного усилия подачи $F_{\text{зад}}$ в зависимости от сигналов, поступающих от датчика диаметра шлифовального круга $D_{\text{диам}}$, датчика припуска $D_{\text{прип}}$ и датчика усилия подачи $D_{\text{ф}}$. Регулятор усилия подачи РУ с выбранным законом регулирования управляющего воздействия U_y изменяет подачу $s_{\text{п}}$ электропривода и, воздействуя на систему СПИД, передает усилие на деталь. Силовой канал электропривода включает в себя электрический преобразователь ЭП, электромеханический преобразователь ЭМП и механический преобразователь МП.

4 Принципы построения поисковых самонастраивающихся систем. Системы с адаптацией в особых фазовых состояниях

Поисковые адаптивные системы выполняют оптимизацию с принятыми критериями качества. В них организуется режим поисковых изменений параметров и

фиксируются те параметры, при которых достигаются экстремальные значения функционала качества.

Поисковая адаптивная система – самонастраивающаяся или самообучающаяся система автоматизированного электропривода.

Связь между экстремальным значением функционала качества и предпочтительными состояниями системы из множества состояний не задана в явном виде, и требуемый выбор обеспечивается путем последовательного приближения к решению в результате опробования различных состояний системы. Таким образом, существенной чертой самонастраивающихся систем данного класса является наличие процесса поиска как последовательной, итеративной процедуры выбора одного из множества возможных путей для достижения поставленной цели.

Поиск экстремума может осуществляться различными способами, начиная от простого просмотра всех имеющихся в наличии состояний системы и кончая сложными вероятностными процедурами сравнения вариантов выбираемых путей. На сложность процедуры поиска влияют многие факторы:

- общее число состояний или параметров системы в области поиска (с увеличением множества состояний приходится принимать специальные меры для ускорения процедуры поиска экстремума),

- вид целевой функции, которая может быть унимодальной или обладать многими экстремумами (в случае многоэкстремальных функций процедуры поиска не должны заканчиваться в окрестности локальных экстремумов).

- дрейф экстремума, приводящий к ошибкам и нарушениям в поиске,

- ограничения области поиска, длительности поиска и точности используемой информации,

- непрерывность или дискретность поиска и т. д.

Все методы поиска подразделяются на регулярные и случайные. В регулярных методах поиска выбор направления поискового движения осуществляется по заранее заданному закону, а в случайных методах направление к экстремуму «нащупывается» случайным образом.

Адаптивные системы с контурами самонастройки обладают весьма существенным недостатком, вызванным наличием в них сложно реализуемых вычислительных блоков для поискового или аналитического определения условий экстремума заданного функционала качества. Часто реализация контура самонастройки приводит к усложнению конструкции системы управления и к снижению надежности ее функционирования.

В отдельных случаях удается решить задачу адаптации более простыми средствами, используя, например, особенности нелинейных систем.

В нелинейных системах могут возникать при определенных условиях особые режимы – автоколебательные или скользящие. Иногда такие режимы бывают вредными или недопустимыми с точки зрения функционирования объекта управления, тогда приходится принимать специальные меры для ослабления действия этих режимов. Однако в адаптивных системах факт возникновения особого режима может быть использован для получения дополнительной информации об управляемом процессе либо особый режим преднамеренно организуется в системе, придавая ей новые свойства, в частности свойство адаптации к параметрическим или внешним возмущениям.

Выделяют [8] два класса систем с адаптацией за счет особых режимов: релейные автоколебательные системы и адаптивные системы с переменной структурой.

4.1 Релейные автоколебательные системы управления

В нелинейной системе, состоящей из релейного элемента и линейной части с передаточной функцией $W_{oy}(p)$ (рисунок 12), используя метод гармонической линеаризации, можно определить зависимость параметров автоколебаний от параметров линейной части.

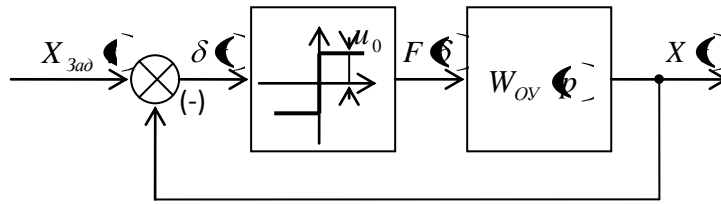


Рисунок 12 – Структурная схема нелинейной системы регулирования

Предположим, что передаточная функция линейной части

$$W_{oy}(p) = \frac{K_{oy}(t)}{p \cdot (T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}, \quad (1)$$

где T_1, T_2 – неизменяемые постоянные времени объекта управления,

$K_{oy}(t)$ - переменный коэффициент усиления объекта.

Уравнение релейного элемента

$$F(\delta) = u_0 \cdot \text{sign} \delta \quad (2)$$

При $X_{зад}(t) = 0$ можно записать общее уравнение для оператора нелинейной системы:

$$T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + p + K_{oy}(t) \cdot u_0 \cdot \text{sign} \delta = 0 \quad (3)$$

Гармоническая линеаризация релейного элемента дает следующую зависимость:

$$F(\delta) = 4 \cdot u_0 / (\pi \omega). \quad (4)$$

Поэтому (3) можно записать так:

$$T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + p + K_{oy}(t) \cdot 4u_0 / (\pi \omega) = 0. \quad (5)$$

Находя периодическое решение уравнения (2) при условии $p = j\omega$, находим амплитуду и частоту автоколебаний:

$$a = \sqrt{K_{oy}(t) u_0 / \pi} \cdot \sqrt{T_2 / (T_1 + T_2)}, \quad (6a)$$

$$\omega = 1 / \sqrt{T_1 T_2}. \quad (6b)$$

Отсюда видно, что при параметрическом возмущении в виде изменения коэффициента усиления $K_{oy}(t)$ объекта амплитуда автоколебаний также будет изменяться. Поддерживая амплитуду автоколебаний на заданном первоначальном уровне, можно создать систему, адаптирующуюся к указанному параметрическому возмущению. Таким образом, параметры особого режима в нелинейной системе могут быть использованы в качестве дополнительной рабочей информации для обеспечения стабильной работы системы вблизи экстремального режима.

На рисунке 13 приведена структурная схема адаптивной автоколебательной системы с регулируемым уровнем ограничения релейного элемента.

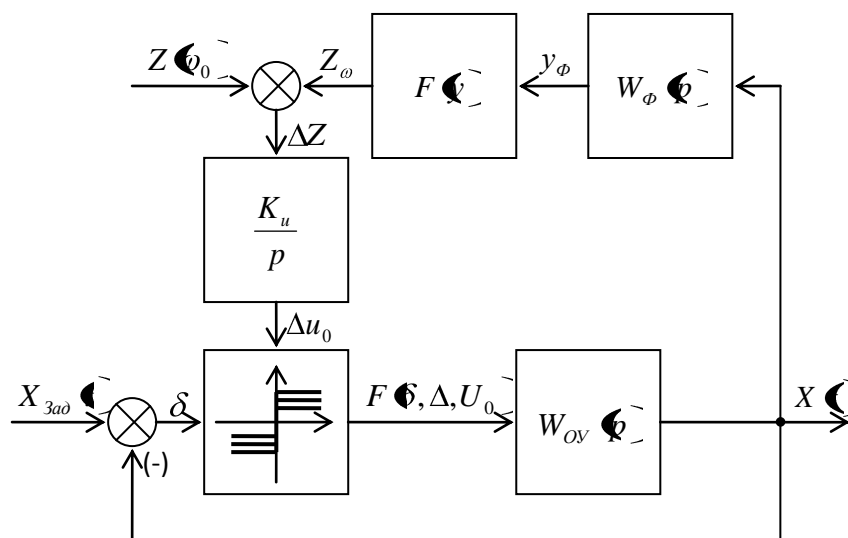


Рисунок 13 – Структурная схема адаптивной автоколебательной системы

На основании (6а) амплитуда автоколебаний может поддерживаться на постоянном уровне при изменениях $K_{oy}(t)$ за счет изменения уровня ограничения реле $[u_0 + \Delta u_0(t)]$. Уравнения системы записываются следующим образом [8]:

уравнение релейного элемента

$$F[\delta, \Delta u_0(t)] = [u_0 + \Delta u_0(t)] \cdot \text{sign} \delta(t); \quad (7)$$

уравнение фильтра, настроенного на частоту автоколебаний ω_0

$$y_\phi = k_\phi X(t); \quad (8)$$

уравнение двухполупериодного выпрямителя сигнала автоколебаний

$$z_\omega = |y_\phi|; \quad (9)$$

уравнение исполнительного устройства для перестройки уровня ограничения релейного элемента

$$\Delta u_0(t) = (k_u / p) \Delta z, \quad (10)$$

где $\Delta z = z(\omega_0) - z(\omega)$;

уравнение основного контура

$$T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + p + K_{oy}(t) \cdot u_0 \cdot \text{sign} \delta = 0. \quad (11a)$$

После гармонической линеаризации (11а) получим параметры автоколебаний:

$$T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + p + K_{oy}(t) \cdot 4[u_0 + \Delta u_0(t)] / (\pi \omega) = 0 \quad (11б)$$

$$a = \sqrt{K_{oy} / \pi [u_0 + \Delta u_0(t)]} \cdot \sqrt{T_2 / (T_1 + T_2)}, \quad (12а)$$

$$\omega = 1 / \sqrt{T_1 T_2}. \quad (12б)$$

Пусть экстремальный режим определяется следующими значениями:

$$\omega = \omega_0; K_{oy} = K_0; \Delta u_0(t) = 0; \Delta z = 0. \quad (13)$$

Тогда можно определить значение опорного напряжения $z(\omega_0)$:

$$z(\omega_0) = z_\omega = |y_\phi| = K_\phi X(t). \quad (14)$$

Линеаризация (14) по постоянной составляющей дает

$$z(\omega_0) = 2k_\phi a_0 \omega_0 / \pi. \quad (15)$$

Учитывая (12а) и (12б), получим

$$z(\omega_0) = u_0 (8k_\phi k_0 / \pi^2) \cdot [\sqrt{T_1 T_2} / (T_1 + T_2)]. \quad (16)$$

Таким образом, при изменении коэффициента $K_{oy}(t)$ будут изменяться амплитуда автоколебаний и среднее выпрямленное значение напряжения z_ω . Появляющееся рассогласование $\Delta z = z(a_0) - z_a$ будет воздействовать на изменение уровня ограничения релейного элемента $\Delta u_0(t)$ таким образом, чтобы уменьшалась до нуля величина Δz .

В случае необходимости регулирования нескольких параметров автоколебательная система может содержать большее число нелинейных взаимосвязанных контуров, что позволяет организовать многочастотные автоколебательные режимы.

4.2 Адаптивные системы электропривода с переменной структурой

В системах с переменной структурой за счет нелинейного сочетания различных линейных структур удастся организовать специфическое вырожденное движение – скользящий режим, или режим перехода от движения, соответствующего одной линейной структуре, к движению, соответствующему другой линейной структуре, с помощью логического переключения связей в системе в зависимости от ее фазового состояния. Такой переход осуществляется с высокой частотой, в пределе стремящейся к бесконечности. После возникновения скользящего режима движение системы происходит вдоль границы переключения и становится независимым от параметров управляемого объекта. Если параметры объекта изменяются в процессе функционирования системы, то такие изменения не оказывают влияния на динамические свойства системы с переменной структурой, находящейся в скользящем режиме. Следовательно, организовав в системе с переменной структурой скользящий режим, удастся добиться независимости ее движения от параметрических возмущений.

При известном диапазоне изменения параметров объекта управления и выбирая управление в виде [8]

$$u = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot x_i, \quad (17)$$

где x_i - фазовые координаты, φ_i - коэффициенты, являющиеся разрывными функциями фазового состояния системы,

за счет поиска предельного скользящего режима работы поддерживается максимальное быстродействие системы управления при изменениях параметров объек-

та. Достаточно простые технические решения адаптивной системы с переменной структурой получаются для двумерного случая ($i = 2$).

4.3 Автоматическая настройка параметров регулятора скорости частотно-регулируемого асинхронного привода с использованием фаззи-логики

Известны [11, 12] традиционные методы адаптации параметров регуляторов скорости и тока тиристорных электроприводов постоянного тока (коэффициента передачи регулятора скорости в функции нагрузки, постоянной времени ПИ-регуляторов скорости и тока в функции скорости).

Неотъемлемой составной частью современных систем электропривода на базе микропроцессорных контроллеров является функция автоматической настройки регуляторов. Однако, как показывает опыт работы с промышленными системами электропривода, существующие технические решения программными средствами еще далеки от совершенства. Так, например [10], при использовании электрических преобразователей «SIMOREG K» фирмы «Сименс» в электроприводе промышленного робота (манипулятора) не удается реализовать автоматическую настройку регулятора скорости привода в условиях реального момента нагрузки механизма поворота.

Представляет интерес применение для целей автоматической настройки параметров регулятора скорости электропривода на стадии математической модели принципов фаззи-логики.

В последние годы частотно-регулируемый асинхронный электропривод с векторным управлением и косвенным определением положения поля (Indirect Field Oriented Control – IFOC) находит множество применений [10]. Обобщенная блок-схема такой системы привода с контуром регулирования скорости показана на рисунке 14.

Рабочие алгоритмы в такой системе основываются на анализе проекций вектора тока статора в осях $d - q$, вращающихся синхронно с вектором потокосцепления ротора. В этих координатах независимо рассматриваются две составляющие тока статора: реактивная I_{dsr} , которая определяет магнитный поток, и активная I_{qsr} , которая определяет величину момента.

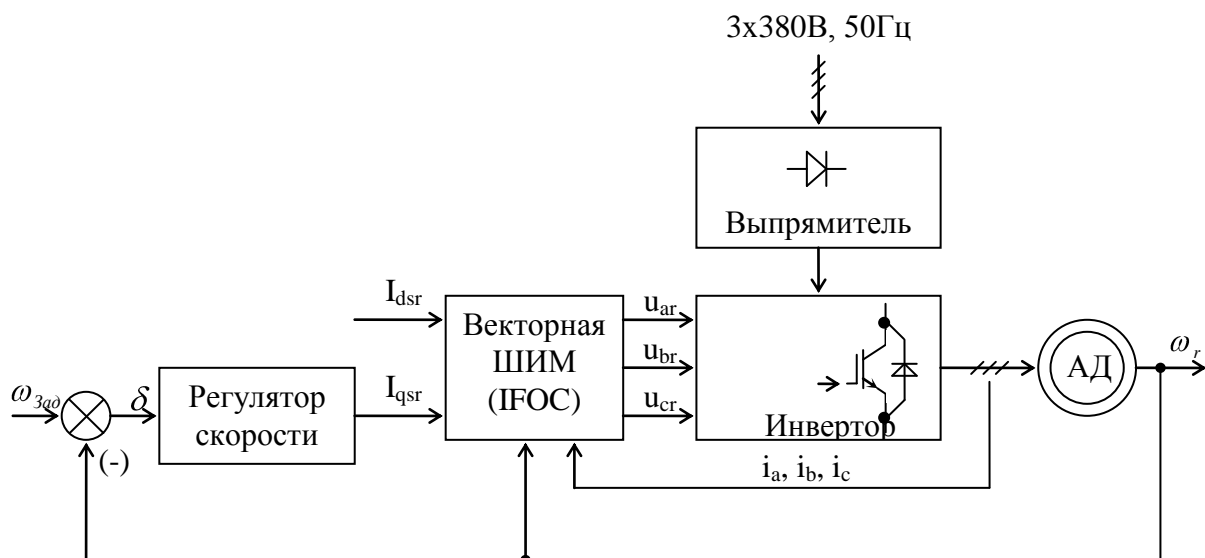


Рисунок 14 - Блок-схема электропривода

Как правило, такие электроприводы должны обладать хорошей управляемостью и низкой чувствительностью к возможным вариациям (неопределенностям) параметров электромеханической системы. Обычной причиной неопределенностей являются изменения параметров под действием внешних факторов и проявления нелинейности динамических характеристик самого двигателя привода.

Для требуемого качества управления скоростью в системах асинхронного привода с косвенным определением вектора потока и ориентацией по полю традиционно используется ПИД - регулятор скорости в структуре с подчиненным регулированием координат. Однако при такой структуре характеристики системы оказываются очень чувствительными к изменениям значений параметров, и неточности определения параметров существенно отражаются на характеристиках электропривода.

В подобных электроприводах может быть эффективным применение регуляторов на базе фаззи-логики, благодаря их способности обеспечивать требуемые характеристики электропривода в условиях неопределенности параметров. Наилучшие результаты от применения фаззи-логики при управлении скоростью в асинхронном приводе с косвенной ориентацией по полю могут быть получены при использовании фаззи-регулятора с семью функциями принадлежности входных и выходного фаззи-

множеств. Опыт эксплуатации подобных электроприводов показал, что этот регулятор имеет низкую чувствительность к неопределенности параметров электромеханической системы и обеспечивает лучшие характеристики по сравнению с традиционным ПИД - регулятором в условиях регулирования скорости при внешних возмущениях и вариации параметров привода. Пример структуры фаззи-регулятора скорости показан на рисунке 15. На входы фаззи-регулятора подаются масштабированные значения ошибки по скорости и изменения ошибки по скорости и изменения ошибки по скорости за один шаг работы регулятора. Выходом фаззи-регулятора является изменение задания активного тока за один шаг работы регулятора. Коэффициенты усиления K_δ , $K_{\dot{\delta}}$, K_I могут быть изменены при настройке фаззи-регулятора на желаемую характеристику.

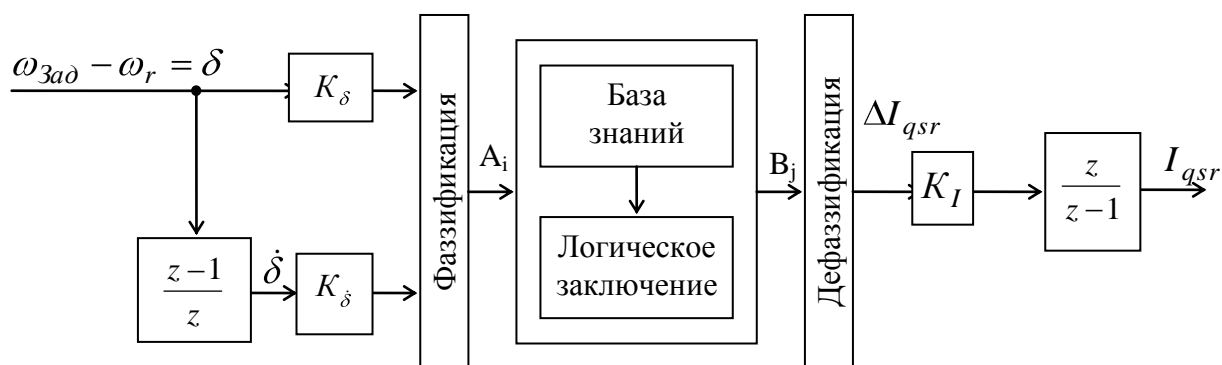


Рисунок 15 - Блок-схема фаззи-регулятора скорости частотно-регулируемого асинхронного электропривода

Регулятор с такой структурой характеризуется значительными затратами времени на вычисления. Даже при использовании специализированного DSP-микроконтроллера полный цикл выполнения расчетных алгоритмов IFOC с фаззи-регулятором скорости занимает более 100 мкс. Это приводит к ограничению верхнего предела выходной частоты инвертора на уровне 3-5 кГц, что недостаточно для удовлетворения требований современной практики частотно-регулируемого привода, когда требуются частоты до 10 кГц и выше.

Являются актуальными поиски решений, позволяющих повысить быстродействие фаззи-регулятора без снижения эффективности его характеристик. Можно отметить, что упрощение структуры фаззи-регулятора путем простого снижения числа функций принадлежности с семи до пяти не дает удовлетворительного результата, так как получаемые в этом случае характеристики электропривода не являются удовлетворительными.

Реализация настройки регулятора на основе фаззи-логики по сравнению с настройкой на основе идентификации параметров объекта регулирования характеризуется существенно меньшими затратами вычислительных ресурсов контроллеров и не требует использования математического описания объекта регулирования.

Применительно к рисунку 15 регулятор скорости обладает структурой ПИ-регулятора или представляет собой дискретный пропорционально-интегральный регулятор с фильтром на входе, который используется во многих приводах, в том числе и в приводах фирмы «Сименс».

В процессе автоматической настройки параметров регулятора скорости необходимо сформировать значения коэффициентов пропорциональной (K_p) и интегральной (K_i) составляющих регулятора, исходя из желаемых динамических характеристик процесса регулирования скорости электропривода, которые, в свою очередь, определяются основными показателями качества регулирования:

- перерегулирование σ ;
- показатель демпфирования процесса ζ .

Для реализации процесса автоматической перестройки параметров регулятора скорости на основе фаззи-логики, настроенного на технический оптимум (ТО), в качестве входных фаззи-переменных адаптивного блока, содержащего дополнительные фаззи-регуляторы параметров, выбираются расчетные значения коэффициентов σ и ζ . В процессе фаззификации этих переменных выделяют термы A_σ и A_ζ , функции принадлежности которых μ_σ и μ_ζ могут быть приняты в форме трапеций. Логическое заключение (инференция) значений функций принадлежности целесообразно осуществить на основе принципа усреднения (логическая операция перемножения И), т.е. результирующая функция принадлежности вычисляется как [9]:

$$\mu_{\sigma[i j]} = \mu_{\sigma[i]} \cdot \mu_{\sigma[j]}. \quad (18)$$

При дефаззификации термов $V_{Kп}$, $V_{Ки}$ корректировок коэффициентов $K_{п}$ и $K_{и}$ выделяются численные значения корректировок пропорциональной и интегральной составляющих цифрового регулятора скорости привода.

4.4 Адаптивные системы оптимального управления технологическим процессом

Адаптивные системы оптимального управления технологическим процессом решают задачу поиска сочетания элементов режима обработки, при которых достигается экстремальное значение одного из показателей (например, производительности) при одновременном обеспечении заданных значений других показателей (точности стойкости инструмента и пр.). Такие системы строятся обычно по поисковому принципу, для которых требуется малый объем предварительной информации. В то же время приходится измерять много параметров и требуется значительный ресурс времени для обработки данных. Главное достоинство поисковых систем – точное поддержание экстремума.

Современные системы ЧПУ станков в отличие от предшествующих аналогов выполнены на основе персональных компьютеров с открытой архитектурой. Это позволяет решать задачи автоматического регулирования путём программирования соответствующих алгоритмов («прописывать математику») в отличие от аппаратного метода реализации адаптивного управления. Это означает, что функции ЧПУ и адаптивного управления могут быть решены на основе составления как программы обработки на станке, так и коррекции этой программы с учетом индивидуальных особенностей элементов технических средств. Появляется возможность прописывать (отдельными строками) адаптивное управление в тексте управляющей программы. При этом ЧПУ может обеспечивать штатный режим работы адаптивной системы путем контроля передаточной функции процесса резания и ее корректировки в автоматическом режиме, используя соответствующие предварительно подготов-

ленные библиотеки настроек. Следовательно, появляется реальная возможность повысить надежность адаптивной системы, которая является подсистемой в системе ЧПУ станка.

На рисунке 16 представлена функциональная схема поисковой адаптивной системы оптимального управления технологическим процессом на станках с ЧПУ токарной и фрезерной групп. Адаптивная система оптимального управления при обработке заготовок осуществляет автоматический поиск и автоматически поддерживает такое сочетание скорости резания V_p и подачи $S_{п}$, которое обеспечивает экстремальное значение целевой функции H обработки (точность, производительность или себестоимость обработки) при наличии технических ограничений и действии возмущающих воздействий f_b (колебаний припуска, твердости материала заготовки, режущих свойств инструмента и др.). Техническими ограничениями являются максимальные и минимальные значения параметров, допустимые на станке (подачи S_{max} , S_{min} , скорости шпинделя $n_{шп max}$, $n_{шп min}$, максимально допустимая глубина резания, уровень вибрации и др.).

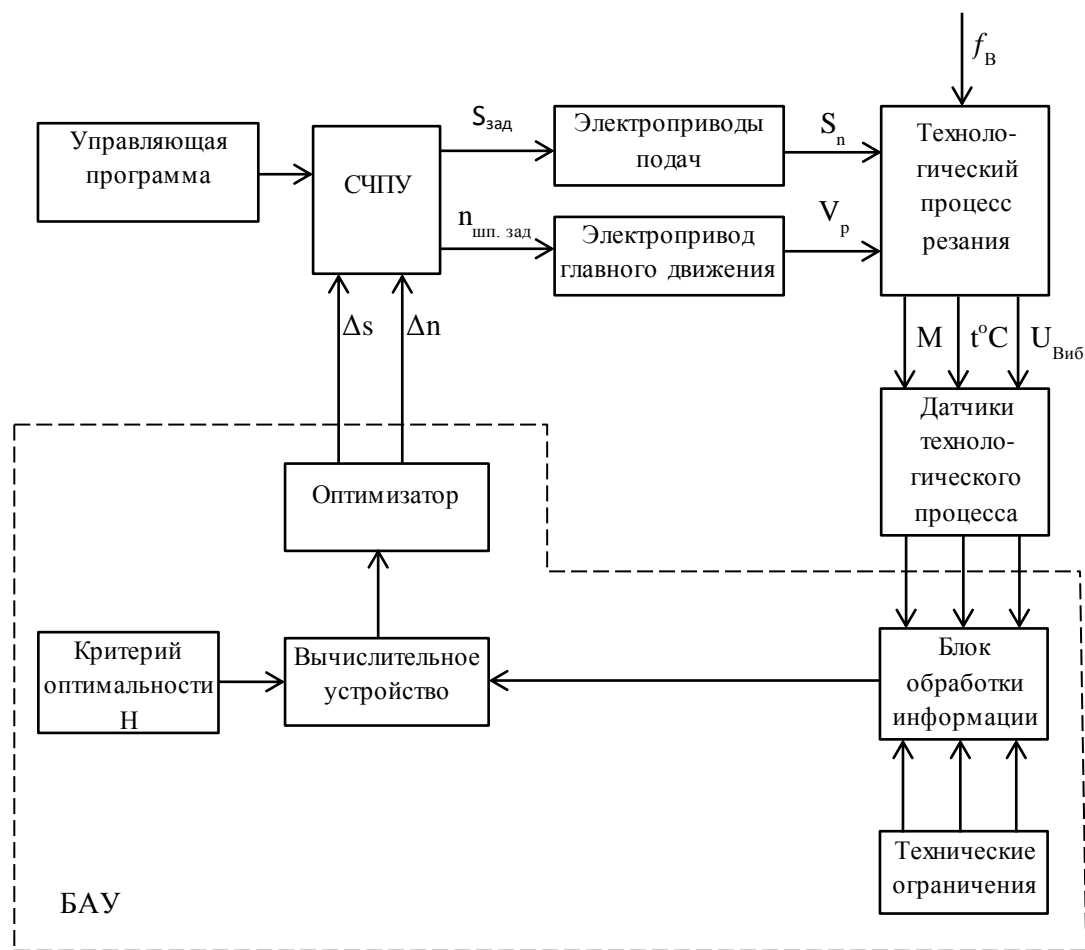


Рисунок 16 – Функциональная схема поисковой адаптивной системы оптимального управления технологическим процессом

Основой для построения адаптивных систем управления является математическая модель управляемого процесса обработки, аналитически задающая систему технических ограничений области поиска оптимальных режимов резания и выражающая зависимость критерия оптимальности от параметров процесса обработки.

Измеряемыми параметрами, характеризующими процесс обработки, могут быть сила резания F , вибрации $U_{\text{виб}}$, температура в зоне резания $t^{\circ}\text{C}$, крутящий момент на шпинделе M , мощность приводного двигателя P и др.

Наиболее информативным показателем процесса резания является изменение силы резания, которое обусловлено совместным влиянием изменения припуска на

обработку, колебания твердости обрабатываемого материала, затупление режущего инструмента и др.

5 Обучающиеся системы. Краткий обзор

Адаптивные системы, разработанные согласно традиционным принципам, имеют недостатки. Большинство алгоритмов адаптации получены при условии отсутствия неконтролируемых возмущающих воздействий и возможности определить все параметры объекта управления в процессе идентификации. Кроме того, практически все алгоритмы адаптации работоспособны, лишь если выполняется гипотеза квазистационарности объекта в течении времени настройки регулятора. К тому же качественные алгоритмы адаптации достаточно сложны в реализации.

Регуляторы, построенные по классическому принципу не всегда позволяют осуществлять управление, обладающее свойством робастности, т. е. нечувствительностью к случайным, нехарактерным возмущающим воздействиям. Данное обстоятельство положило начало развитию нового научного направления – интеллектуальных систем управления [16].

Обучающиеся системы являются наиболее сложным и недостаточно изученным классом адаптивных систем. Такие системы создаются на основе принципа обучения, заключающегося в постепенном накоплении опыта формирования поведения системы при высокой степени неопределенности ее исходных состояний, по результатам которого происходит улучшение функционирования системы. Характер накопления опыта при обучении весьма многообразен, например опыт может быть накоплен положительный или отрицательный, систематизированный или случайный, собственный или привнесённый, имитационный (искусственный) или естественный и т.д. Однако у всех способов накопления опыта есть достаточно общая черта – постепенное выделение “области знаний” из всей совокупности “незнания”. Поэтому в теории обучающихся систем эта особенность нашла отражение в достаточно быстро развивающемся направлении, связанном с созданием автоматических систем классификации или распознаванием образов. Под классификацией или рас-

познаванием образов здесь понимается установление по результатам накопленного опыта границ между определёнными классами сложных ситуаций. Задачи распознавания и классификации встречаются часто не только в технических приложениях, но и в таких областях, как медицинская диагностика, геологическая разведка месторождений прогнозирование погоды и т.д.

Интеллектуальные системы управления (ИСУ) – Это системы, способные к «пониманию» и обучению в отношении объекта управления, внешних возмущений и условий работы. Основное отличие ИСУ – наличие механизма системной обработки знаний. Главная архитектурная особенность, которая отличает интеллектуальные СУ от традиционных – это механизм получения, хранения и обработки знаний для реализации своих функций.

В основе создания ИСУ лежат два принципа: ситуационное управление (управление на основе анализа внешних ситуаций или событий) и использование современных информационных технологий обработки знаний.

Существует несколько современных информационных технологий, позволяющих создавать ИСУ:

- экспертные системы,
- искусственные нейронные сети,
- нечеткая логика,
- генетические алгоритмы и ряд других.

Интеллектуальные технологии между собой различает прежде всего то, что именно положено в основу концепции интеллектуальности – либо умение работать с формализованными знаниями человека (экспертные системы, нечеткая логика), либо свойственные человеку приемы обучения и мышления (искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы).

В инженерном контексте интеллектуальное управление должно обладать следующими свойствами:

- способностью к обучению и адаптации,
- живучестью (устойчивостью к повреждениям и неполадкам),
- комфортным человеко-машинным интерфейсом,

- способностью к включению новых компонентов.

5.1 Основы теории нейронных сетей

Под искусственными нейронными сетями подразумевают [16, 17] вычислительные структуры, состоящие из большого количества однотипных элементов, каждый из которых выполняет относительно простые функции. В начале развития аппарат нейронных сетей (НС) применялся для распознавания образов, сейчас область применения расширилась, и он начал применяться, в частности, в задачах управления.

Разработано большое количество различных типов НС, имеющие свои отличительные особенности.

Элементарным преобразователем в сетях является нейрон, названный так по аналогии с биологическим прототипом. Искусственный нейрон обычно представляют в виде структуры, представленной на рисунке 17. Такой нейрон имеет n -входов x_1, x_2, \dots, x_n и один выход y , а его математическая модель описывается соотношениями [16]

$$s = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j + b$$

$$y = F(s),$$

где w_j – весовые коэффициенты, b – постоянное смещение, $F(s)$ – функция активации, или передаточная функция нейрона.

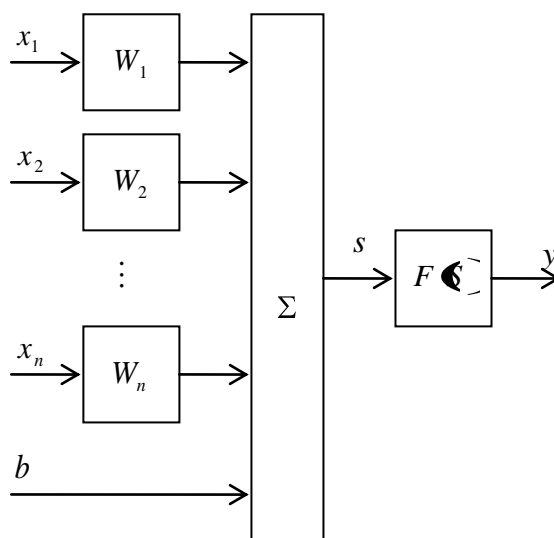


Рисунок 17 – Структура искусственного нейрона

В качестве активационной функции используется сигмоид

$$F(s) = \frac{1}{1 + \exp(-a \cdot s)},$$

где a – некоторая положительная постоянная.

Выходное значение нейрона лежит в диапазоне $[0,1]$. Ценные свойства сигмоидальной функции – дифференцируемость на всей оси абсцисс и простое выражение для ее производной, что используется в некоторых алгоритмах обучения. Кроме того, она обладает свойством усиливать слабые сигналы лучше, чем большие.

НС состоит из ряда связанных друг с другом нейронов, образующих несколько слоев (рисунок 18). Нейроны входного слоя сети математических операций не выполняют, служат для размножения сигналов и при определении числа слоев не учитываются.

Чтобы НС могла решить поставленную задачу, ее предварительно надо обучить. Сущность обучения состоит в подстройке весов нейронов по примерам обучающей выборки.

В задачах управления наиболее широкое применение получили многослойные НС прямого распространения, или многослойные перцептроны MLP (от Multi Layer Perceptron; “perception” – восприятие)

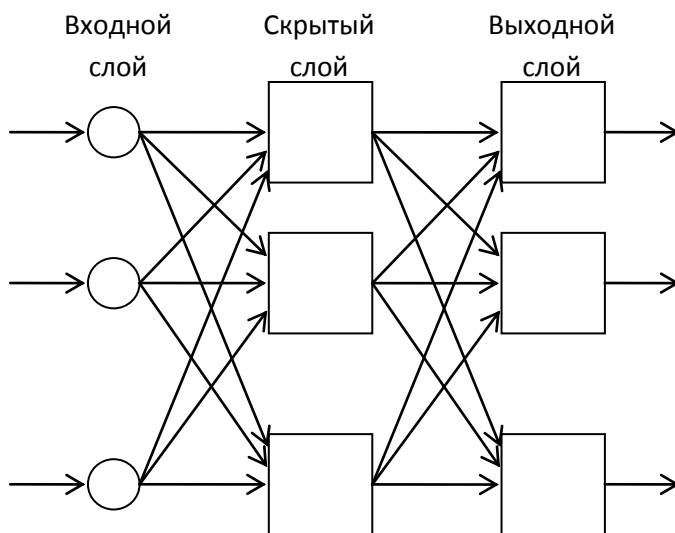


Рисунок 18 – Двухслойная нейронная сеть

Чтобы НС могла решить поставленную задачу, ее предварительно надо обучить. Сущность обучения состоит в подстройке весов нейронов по примерам обучающей выборки.

В задачах управления наиболее широкое применение получили многослойные НС прямого распространения, или многослойные перцептроны MLP (от Multi Layer Perceptron; “perception” – восприятие).

Задача автоматического обучения классификации формулируется следующим образом. Каждой возможной ситуации из множества рассматриваемых ставится в соответствие точка некоторого пространства x . Заранее известно, что в пространстве x необходимо выделить две или большее число областей или классов ситуаций. Расположение границ между областями неизвестно и нет определенных правил, по которым можно определить принадлежность той или иной точки любой из заданных областей. Цель обучения заключается в построении поверхности, разделяющей предъявляемые точки из указанного множества на заданное число классов. Принципиально существует два подхода к обучению такому разделению. В первом случае,

при обучении с поощрением, классифицирующему автомату предъявляют ряд случайных точек из множества в пространстве x и сообщают информацию о принадлежности этих точек определенным классам. После определенного цикла обучения на таких примерах автомат строит разделяющую поверхность и может в дальнейшем отличать принадлежность разным классам не только предъявленных ему точек-примеров, но и любых других точек в пространстве x .

В случае обучения без поощрения информация p принадлежности точек разделяемым классам отсутствует. Здесь автомат по наблюдению предъявляемых точек определяет факт компактного расположения нескольких из них и затем строит разделяющие поверхности на основе выбранной меры близости компактных групп точек к разделяющей поверхности.

Объективная сложность обучения как с поощрением, так и без поощрения заключается в том, что не всегда классы из близко расположенных друг к другу точек строго отделимы, т.е. возможны пересечения классов, когда одни и те же точки принадлежат разным классам.

Для хорошо разделимых классов используют достаточно простые алгоритмы автоматической классификации, основанные на аппроксимации разделяющих поверхностей отдельными участками гиперплоскостей. Для менее разделимых классов приходится использовать вероятностные методы, основанные на определении вероятностных характеристик принадлежности точек пересекающимся классам.

5.2 Нейросетевая идентификация электропривода постоянного тока

Преобладание микропроцессорных систем управления в современных и перспективных электроприводах позволило увеличить алгоритмические возможности управления благодаря гибкости программного обеспечения. Появилась возможность построения систем электроприводов с широкими возможностями регулирования параметров, диагностики состояния, самонастройки и адаптации. Одной из ключевых задач для построения подобных систем является идентификация электропривода.

Идентификация позволяет получить модель электропривода с допустимой для практического применения погрешностью динамики.

Когда известна общая математическая модель объекта, то расчет и построение уточненной модели возможны методами классической теории автоматического управления. На практике современные электропривода часто представляют собой многомассовые системы и имеют существенные нелинейности. Линеаризованные модели, построенные на передаточных функциях, не всегда могут адекватно отобразить электропривод во всех его режимах работы. Но даже при наличии такой модели, в реальных системах применяются более простые программные методы, позволяющие получить грубую идентификацию объекта для автонастройки регулятора и диагностики системы. Это связано с ограниченными ресурсами систем управления по памяти и мощности процессоров.

Искусственные нейронные сети являются альтернативным инструментом идентификации динамических объектов, в том числе электромеханических систем и сложных взаимосвязанных электроприводов. Существует теорема об универсальной аппроксимации многослойной нейронной сети, утверждающая [13], [14] что многослойной сети с одним скрытым слоем достаточно для получения равномерной аппроксимации с точностью для любого обучающего множества, представленного входами и желаемых откликов. Возможность такого подхода к идентификации ограничивается лишь достаточным количеством обучающих примеров типа «вход-выход» применительно к параметрам конкретного электропривода. Для рассмотрения выбрана сеть, известная как модель нелинейной регрессии с внешними входами NARX. Обобщенная модель имеет форму:

$$y(n+1) = F[y(n), \dots, y(n-q+1), u(n), u(n-q+1)],$$

где $y(n)$ – выходной вектор, $u(n)$ – входной вектор, n – дискретный момент времени, q - порядок системы. Такая сеть, имея обратные связи с единичной задержкой, позволяет построить на ее основе модель динамического объекта любой сложности. Ниже приведена структурная схема сети NARX (рисунок 19).

Моделирование в среде Matlab – Simulink электропривода постоянного тока с использованием обучающей нейронной сети позволяет сделать вывод, что нейронная сеть с достаточной точностью повторяет динамику модели электропривода во всем диапазоне его работы

Данный метод построения модели не требователен к ресурсам микропроцессорной системы управления, так как не требует решения сложных дифференциальных уравнений. Кроме того, метод может быть применен к электроприводам любой сложности. Недостатком метода является необходимость после обучения модели проверки ее на адекватность новыми данными, не участвовавшими в обучении. Это связано с опасностью переобучения сети. Эта проблема может быть решена программным контролем результата обучения перед применением.

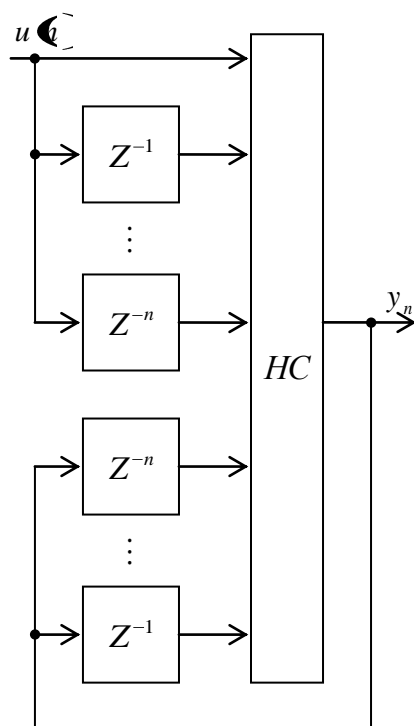


Рисунок 19 - Рекуррентная многослойная нейронная сеть NARX.

Таким образом, сеть типа NARX можно использовать в составе управляющих алгоритмов в системах управления для идентификации электроприводов, когда имеется возможность получить множество обучающих примеров в рабочем диапа-

зоне. Возможно использование сети NARX при построении полностью нейросетевых систем управления [15] применительно к электроприводам.

5.3 Некоторые варианты построения нейросетевого управления

Простейшая последовательная схема нейросетевого управления показана на рисунке 20. Здесь: x – входной задающий сигнал; f – сигналы, несущие информацию о контролируемых возмущениях; y – выходной сигнал системы.

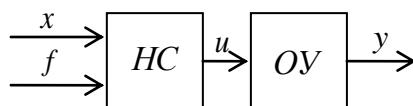


Рисунок 20 – Последовательная схема нейросетевого управления

Параллельная схема нейроконтроллера для последовательной схемы нейросетевого управления приведена на рисунке 21.

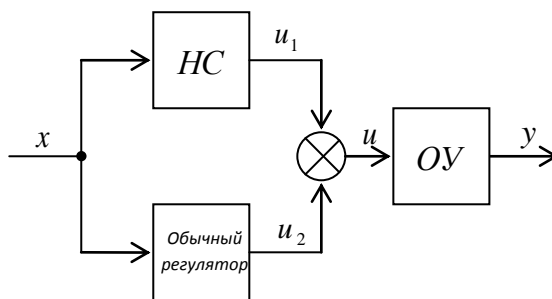


Рисунок 21 – Параллельная схема нейроконтроллера

Настройка НС заключается в том, чтобы подкорректировать сигнал u_2 обычного регулятора, если он не обеспечивает необходимого качества управления.

В системе, приведенной на рисунке 22, НС используется для настройки параметров обычного контроллера (например, ПИД-регулятора).

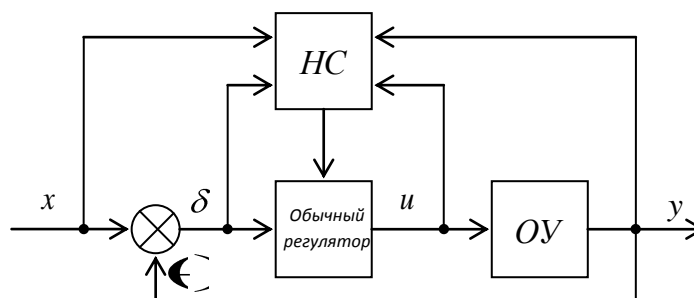


Рисунок 22 – Применение НС для настройки параметров регулятора

Несмотря на большое количество достоинств нейронных сетей, системам управления на основе НС свойственен и ряд недостатков: проблема со скоростью оптимизации весов нейронных сетей, отсутствие строгой теории по выбору типа и архитектуры НС, возможность получения нейронной сетью информации только в процессе обучения и невозможность введения априорной информации.

Выводы

1. При синтезе адаптивных систем управления электроприводов наибольший практический интерес представляют вследствие наибольшей универсальности и наилучшего эффекта системы со стабилизацией характеристик основного контура и системы с идентификатором или с уточняемой моделью объекта управления.

2. В широкорегулируемых системах электропривода с подчиненным регулированием координат введение во внутренний контур адаптивного регулятора тока улучшает качество управления скорости в режиме прерывистого тока.

3. При автоматизации технологических процессов в металлообработке для повышения производительности используются беспоисковые адаптивные системы, обеспечивающие предельные режимы обработки.

4. Поисковые адаптивные системы целесообразно применять для обеспечения точности обработки, например, на шлифовальных станках.

5. При отсутствии начальной информации об объекте управления целесообразно использование искусственных нейронных сетей в системах управления, которые могут реализовывать произвольные гладкие функции любой сложности.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 50369 - 92. Электроприводы. Термины и определения. - Издательство стандартов, 1993. – 13 с.

2. ГОСТ 27803 - 91. Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов. Технические требования. - Издательство стандартов, 1991. – 2- с.

3. Башарин, А.В. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. / А.В. Башарин – Л.: Энергоиздат. Ленингр.отд - ние, 1982. – 392 с.: ил.

4. Яблонь, В.П. Синтез регуляторов с нелинейным интегральным каналом для следящих систем.- Режим доступа WWW.URL: <http://www.portal/natural/Yblon>

5. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. вузов / М.П.Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др.; под ред. В.А.Новикова, Л.М.Чернигова.- М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 368 с.

6 Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.

7. Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

8. Адаптивные системы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа [WWW.URL: http://www.allbest.ru/00841955.zip-WinRaR](http://www.allbest.ru/00841955.zip-WinRaR).

9. Устройства управления однофазные реверсивные тиристорные БУ 3609. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОВХ.466.024ТО.

10. Старостин, С.С. Автоматическая настройка регулятора скорости электропривода на основе фаззи-логики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [WWW.URL: http://www.library.ospu.odessa.ua/](http://www.library.ospu.odessa.ua/).

11 Комплектный электропривод подачи серии «Мезоматик -К». Техническое описание.- [Б.М.], 1988. – 54 с.

12 Комплектный электропривод подачи серии «Кемрон». Техническое описание.- [Б.М.], 1989. – 63 с.

13. Волков, В.Н. Нейросетевая идентификация электропривода постоянного тока. // Современные научные исследования и инновации. – Апрель, 2013 [Электронный ресурс].- Режим доступа: WWW.URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/04/23648>

14. Макаров, И.М. Интеллектуальные системы автоматического управления – М.: ФИЗМАЛИТ, 2001 – 576 с.

15. Чернодуб, А.Н. Обзор методов нейроуправления. / А.Н. Чернодуб, Д.А. Дзюба – Киев.: Институт проблем математических машин и систем НАН Украины.

16. Усков, А.А. Интеллектуальные технологии управления./ А.А. Усков, А.В. Кузьмин.- [Б.М.], Из-во «Горячая линия» – Телеком. 2004.

17. Терехов, В.А. Нейросетевые системы управления: учебн. пособие для вузов / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – М.: Высш. шк. 2002.- 183 с.; ил.

18. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Практ. пособие. В 14-ти кн. Кн.14 / О.П. Михайлов, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев. Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов; под ред. Б.И. Черпакова – М.: Высш. шк., - 1989. – 111 с.: ил.