

УДК 62.83.004.15

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛЯТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Волянский С.М., асп., Волянская Я.Б., к.т.н., доц.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

54025, г. Николаев, пр. Героев Сталинграда, 9

E-mail: jana@mksat.net

Проводиться анализ систем автоматического управления энергозберігаючим електроприводом постійного струму, побудованих з застосуванням різнотипних регуляторів.

Ключові слова: ПІД-регулятор, нечітка логіка, штучні нейронні мережі.

The analysis of systems of automatic control resource saving by the electric drive of a constant current various regulators, constructed on application is carried out.

Key words: PID-regulator, fuzzy logic, neuron networks.

Введение. В настоящее время в науке и технике особое внимание уделяется поиску путей экономии энергии и развитию энергосберегающих технологий. Основным потребителем электрической энергии являются электромеханические системы, работающие в составе различных установок и агрегатов (например, морских подвижных объектов). В них значительное применение находят двигатели постоянного тока благодаря их относительно невысокой стоимости и хорошим эксплуатационным качествам.

К приводам постоянного тока морских подвижных объектов (в т.ч. и подводных аппаратов), в которых имеет место неопределенность внешних возмущений, предъявляются повышенные требования по обеспечению предельной точности воспроизведения заданных траекторий, плавности движения, отсутствия перерегулирования в переходных режимах, достаточного запаса устойчивости и высокой надежности [5]. Для обеспечения этих требований применяются системы управления электроприводами постоянного тока с различными типами регуляторов.

Известно [1], что за счет оптимального управления динамическими режимами электропривода может достигаться существенная (до 10-30%) экономия энергии, поэтому актуальной является задача исследования энергосберегающей эффективности различных типов регуляторов.

Цель работы – анализ систем управления энергозберігаючим електроприводом постійного струму морських подвижных объектов, построенных на применении разнотипных регуляторов.

Материал и результаты исследования. Задачей системы управления электроприводом морского подвижного объекта (МПО) является обеспечение заданного качества регулирования процессов при воздействии внешних возмущений, действующих на объект управления (течение, ветро-волновые возмущения). Как правило, в таких системах управле-

ния применяют типовые регуляторы (интегральные, пропорциональные, пропорционально-дифференциальные, пропорционально-интегральные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (И, П, ПД, ПИ и ПИД-регуляторы), регуляторы с переменной структурой, адаптивные (самонастраивающиеся) и оптимальные регуляторы.

ПИД-регулятор относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Порядка 90-95% регуляторов [2, 6], находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД-алгоритмы. Причинами столь высокой популярности являются простота построения, функционирования и промышленного использования, пригодность для решения большинства практических задач и низкая стоимость.

Простейшая система автоматического регулирования с обратной связью показана на рис. 1.

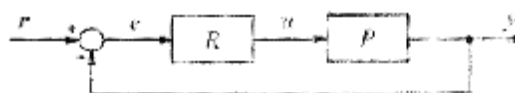


Рисунок 1 – ПИД-регулятор в системе с обратной связью

На рис. 1 обозначено: R – регулятор, P – объект регулирования, r – управляющее воздействие (уставка), e – сигнал рассогласования (ошибка), u – выходной сигнал регулятора, y – регулируемая величина.

Если выходная переменная u регулятора R описывается выражением:

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt},$$

где t – время; K, T_i, T_d – пропорциональный коэффициент, постоянная интегрирования и постоянная дифференцирования соответственно, то такой регулятор называют ПИД-регулятором.

В частині випадку пропорційна, інтегральна або диференціальна компоненти можуть відсутні, і такі спрощені регулятори називаються І-, П-, ПД- або ПІД-регуляторами.

Описаний вище ПІД-регулятор і його частинні випадки є теоретичними ідеалізаціями реальних регуляторів, тому для їх практичного впровадження необхідно врахувати обмеження, накладувані реальними умовами застосування і технічної реалізації.

Крім того, наявність в ПІД-регуляторах тільки трьох регульованих параметрів (K, T_i, T_d) в ряді випадків виявляється недостаточним для отримання заданого якості регулювання, особливо для систем з великою транспортною затримкою і для систем, в яких вимагається одночасно висока якість слідування за уставкою і висока якість ослаблення зовнішніх впливів (наприклад, функціонування МПО в умовах морського хвилювання).

Постійно зростаючі вимоги ринку до якостевих показників ПІД-регуляторів ініціюють появу багатьох нових модифікацій [4, 7]:
 - регуляторів з ваговими коефіцієнтами при уставці (наприклад, регуляторів з формуючим фільтром для сигналу уставки);
 - регуляторів з передаточною функцією об'єкта;
 - імпульсного управління без зворотного зв'язку;
 - регуляторів відношень;
 - регуляторів з внутрішньою моделлю об'єкта управління і др.

Найбільш перспективним для автоматичного управління МПО є використання методів нечіткої логіки (fuzzy logic) і штучних нейронних мереж.

Перераховані методи за кордоном називають «soft-computing», підкреслюючи їх відмінність від «hard-computing», що полягає в можливості оперувати з неповними і неточними даними [5]. В одному регуляторі можуть застосовуватися комбінації перерахованих методів (фаззи-ПІД, нейро-ПІД, нейро-фаззи-ПІД-регулятори з генетичними алгоритмами).

Нечітке управління (управління на основі методів теорії нечітких множин) [3] використовується при недостатньому знанні об'єкта управління, наявності досвіду управління ним, в нелінійних системах, ідентифікація яких надто складна, а також в випадках, коли по умову задачі необхідно використовувати знання експерта.

ПІД-регулятори з нечіткою логікою в даний час використовуються в системах кондиціонування повітря, при управлінні автомобільними двигачами, для автоматичного управління двигачами підводних апаратів і в інших областях.

Нечітка логіка в ПІД-регуляторах використовується переважно двома шляхами: для побудови самого регулятора і для організації підстроювання коефіцієнтів ПІД-регулятора. Обидва шляхи можуть застосовуватися в регуляторі одночасно.

Одним з найбільш поширених структур нечіткого регулятора (нечіткий ПІД-регулятор) по-

казана на рис. 2.

На вхід регулятора поступає помилка e , паралельно використовується для обчислення похідної по часу $\frac{de}{dt}$. Обидві величини спочатку підлягають

операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні), потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткої логіки для отримання керуючого впливу на об'єкт, який після виконання операції дефазифікації (зворотного перетворення нечітких змінних в чіткі) поступає на вихід регулятора в вигляді керуючого впливу u .

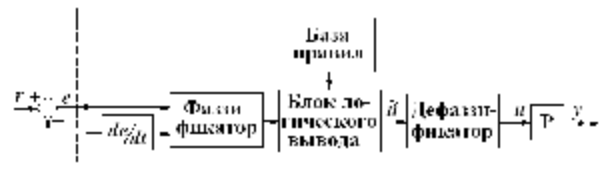


Рисунок 2 – Структура нечіткого ПІД-регулятора

Для побудови нечітких регуляторів зазвичай використовують ПІД-закони регулювання і їх модифікації. В якості входних сигналів використовують сигнал помилки, приращення помилки, квадрат помилки і інтеграл від помилки [4].

Настроювання ПІД-регулятора за формулами зазвичай не є оптимальним і може бути покращено за допомогою подальшої підстроювання. Підстроювання може бути виконано оператором на основі евристичних правил або автоматично, з допомогою блоку нечіткої логіки (рис. 3).

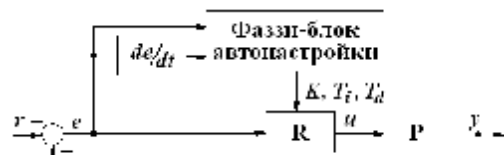


Рисунок 3 – Структура ПІД-регулятора з блоком автонастроювання на основі нечіткої логіки

Блок нечіткої логіки (фаззи-блок) використовує базу правил і методи нечіткої логіки. Фаззи-підстроювання дозволяє зменшити перерегулювання, знизити час встановлення і підвищити робастність ПІД-регулятора [5].

Штучні нейронні мережі, як і нечітка логіка, використовуються в ПІД-регуляторах двома шляхами: для побудови самого регулятора і для побудови блоку настроювання його коефіцієнтів. Особливістю нейронної мережі є здатність до «навчання», що дозволяє передати нейронній мережі досвід експерта. Регулятор з нейронною мережею схожий на регулятор з табличним управлінням, однак відрізняється спеціальними методами настроювання («навчання»), розробленими для нейронних мереж, і методами інтерполяції даних.

Типова структура системи автоматичного регулювання з ПІД-регулятором і штучною

нейронної мережі в якості блоку автонастройки показана на рис. 4.

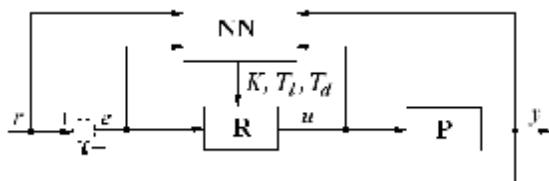


Рисунок 4 – Структура ПИД-регулятора з блоком автонастройки на основі нейронної мережі

Нейронна мережа NN в даній структурі грає роль функціонального преобразователя, який для кожного набору сигналів r , e , u , y виробляє коефіцієнти ПИД-регулятора K , T_i , T_d .

Обучення представляє собою процес самоорганізації розподіленої висувальної мережі – нейронних ансамблів. В розподілених нейронних мережах відбувається паралельна обробка інформації, супроводжується постійним навчанням, направляється результатами цієї обробки.

Позитивні риси розподіленої обробки інформації в штучних нейронних мережах складаються наступним чином:

1) паралелізм обробки інформації – глобальність зв'язів між нейронами. До навчання ці зв'язи довільні, але навчання на прикладах «проявляє» конкретну структуру мережі під конкретну задачу;

2) висока швидкість. Вона можлива внаслідок внутрішнього паралелізму мережі і простої реалізації в вигляді швидкодіючих електронних мікросхем;

3) єдиний і ефективний принцип навчання нейронних мереж – мінімізація емпіричної помилки методом її зворотного розповсюдження по мережі. Зовні задається лише мета навчання – тобто спосіб визначення помилки по виходах мережі. Далі мережа поступово модифікує свою конфігурацію, мінімізуючи цю помилку і все краще справляючись з завданням, що покладено на неї;

4) надійність функціонування. Надлишковість зв'язів призводить до того, що значення кожного ваги окремо не грають вирішальної ролі. Висновок з обмеженої кількості нейронів або обрив деяких зв'язів не впливають критично на якість роботи всієї мережі. В звичайних комп'ютерах такі несправності призводять до повного виходу регулятора з ладу;

5) здатність вирішувати неформалізовані завдання – випливає з здатності нейронних мереж самостійно виробляти дуже складні алгоритми обробки даних, формалізувати які самостійно зазвичай не можуть навіть кращі експерти в даній предметній області. Отже – відносна дешевизна нейронних мереж розробок;

6) перепрограммовуваність. Нейронні мережі легко адаптуються до нових умов експериментів. Для більш глибокого і детального дослідження

всіх вище перерахованих типів регуляторів може використовуватися лабораторний стенд для натурних досліджень регуляторів електроприводів постійного струму, розроблений і створений в Національному університеті кораблебудування [3].

Висновки. На основі проведеного аналізу різних типів регуляторів, застосовуваних в системах управління електроприводами постійного струму, виявлено, що використання законів нечіткої логіки для управління електроприводами дозволить отримати покращення його динамічних характеристик і, як наслідок, знизити енергопотреблення системи.

При створенні систем енергозберігаючого управління електроприводами постійного струму морських рухомих об'єктів, що характеризуються наявністю невизначеностей зовнішніх впливів, застосування нечітких і нейросетевих регуляторів, в яких здійснюється контроль і високоскоростна обробка комплексів різних технологічних параметрів, дозволить суттєво підвищити надійність, зменшити експлуатаційні витрати і знизити енергопотреблення об'єктів управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.
2. Автоматичні підводні апарати / Агеев М.Д., Касаткін Б.А., Киселев Л.В. і др. – Л.: Судостроєння, 1981 (Техніка освоєння океана). – 224 с.
3. Блинцов В.С., Блинцов С.В., Волянська Я.Б., Волянський С.М., Костенко Д.В. Стенд для експериментальних досліджень ефективності нейро-нечітких регуляторів електроприводів постійного струму // Електроприводи перемінного струму: Труды міжнародної чотирнадцятої науково-технічної конференції. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – 295-298 с.
4. Методи робастного, нейро-нечіткого і адаптивного управління: Учебник / Під ред. Н.Д. Егупова, 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ ім. Баумана, 2002. – 744 с.
5. Филаретов В.Ф., Алексеев Ю.К., Лебедев А.В. Системи управління підводними роботами. – М.: Круглий рік, 2000. – 288 с.
6. Mann G.K.I., Bao-Gang Hu, Gosine R.G. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures // IJEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B. June 1999 Vol. 29. Issue 3. P. 371-378.
7. Yesil E., Guzelkaya M., Eksin I. Internal model control based fuzzy gain scheduling technique of PID controllers // World Automation Congress, 28 June – 1 July 2004. Proceedings. Vol. 17. P. 501-506.

Стаття надійшла 14.05.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.