

## БЕЗПОШУКОВІ ТА ПОШУКОВІ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

*Демішонков Я.В.* – гр. ДФЕЕ-18, аспірант, *dyarikv@ukr.net*

*Максимкін О.Є.* – гр. МгЕМ-20, магістр

*Бурмістенков О.П.* – д.т.н., професор, *bur42@ukr.net*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*В данні статті розглянуті теоретичні основи системи адаптивного управління електроприводом. Проведено огляд систем і принципи побудови, а саме безпошукових та пошукових систем адаптивного керування електроприводів.*

*This article discusses the theoretical foundations of the adaptive control system of the electric drive. A review of systems and principles of construction, namely search and search systems of adaptive control of electric drives.*

**Вступ.** Робота деяких робочих машин і виробничих механізмів характеризується випадковою зміною в широких межах умов технологічних процесів і різних діючих на них впливів, які обурюють. Для забезпечення найкращого ходу таких технологічних процесів ЕП повинен мати можливість змінювати відповідним чином характер своєї роботи [1,2].

У процесі експлуатації ЕП змінюються їх динамічні і статичні характеристики через модифікації параметрів (опорів резисторів, індуктивностей, коефіцієнтів підсилення і передачі), а також впливів, що задають та збурюють. Змінюються також характеристики передавальних приладів і самі об'єкти управління. Ці модифікації частіше заздалегідь невідомі, й інформація про них у процесі експлуатації неповна.

Відзначимо, що розглянуті раніше розімкнуті і замкнуті системи управління електроприводами належать до таких систем, у яких модифікація характеристик і неповнота інформації незначні й істотно не впливають на досягнення мети управління, а тому можуть не враховуватися.

Зміну характеристик не можна врахувати заздалегідь, бо вони змінюються безперервно. Тому враховувати зміни повинна сама система управління ЕП у процесі роботи, безперервно поповнюючи інформацію про ЕП і об'єкти керування та використовуючи її для управління. Такі

системи управління ЕП пристосовуються в процесі роботи до умов, що виникають, тобто адаптуються, тому їх називають адаптивними.

**Постановка проблеми.** Метою нашої роботи є огляд безпошукових та пошукових системи адаптивного керування електроприводу. Предметом дослідження – адаптивні системи керування електромеханічними пристроями електропобутової техніки, а саме керування електроприводом.

**Результати досліджень.** Адаптивні системи ЕП – це системи, що вимагають урахування змін характеристик і поповнення інформації про об'єкт у процесі роботи. Тут є деяка «дуальність» управління: система сама визначає поточну інформацію про об'єкт і використовує її для оптимального управління об'єктом. В адаптивних системах управління ЕП керуючі впливи або алгоритми управління автоматично змінюються з метою здійснення кращого в якомусь сенсі управління об'єктом.

На рис.1. представлена найпростіша функціональна схема адаптивної системи управління ЕП із мінливістю характеристик і неповною інформацією, що дозволить описати принцип роботи адаптивної системи управління. В схемі зазначено: *КП* – керуючий пристрій; *ОУ* – об'єкт управління; *ПА* – пристрій адаптації; *f* – перешкоди; *u*, *v* – сигнали управління; *x*, *y* – вхідний і вихідний сигнали.

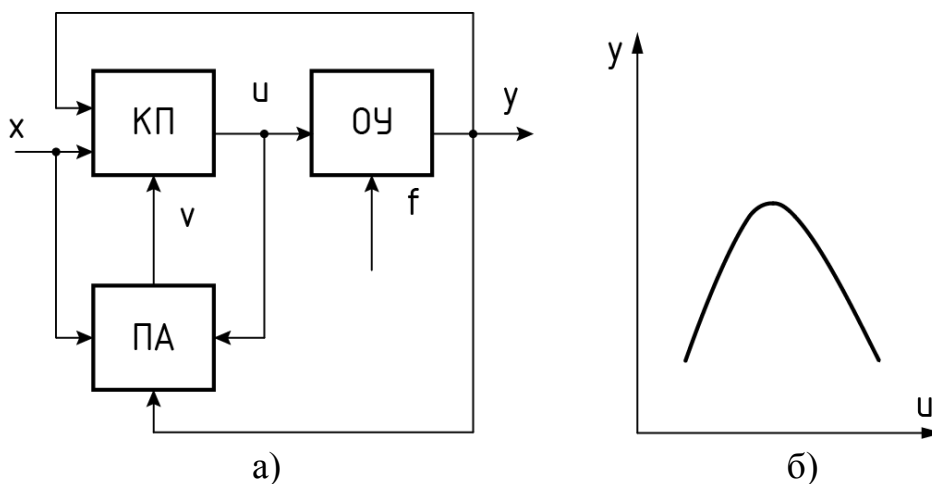


Рисунок 1 – Функціональна схема системи адаптивного управління ЕП:  
а – схема; б – характеристика об'єкта

Принцип дії найпростішої адаптивної системи полягає в тому, що вона має заданий критерій якості і повинна змусити об'єкт управління працювати так, щоб виконувався екстремум критерію якості. В адаптивній системі основна роль належить пристрою адаптації ПА, що одержує сигнали входу *x* і виходу *y*, а також сигнал управління об'єктом *u*. Ці

сигнали можуть мати високу вимірність і служать для підрахунку значень критерію якості. ПА виробляє сигнал  $v$ , що також може мати високу вимірність і управляти КП таким чином, щоб при певних значеннях сигналу  $x$ , за наявності зворотного зв'язку по  $y$  і будь-якої складності перешкод  $f$ , одержувати в кожний момент часу в об'єкті відпрацювання з екстремальним значенням показника якості (продуктивності, собівартості й ін.).

До класу адаптивних систем управління належать системи, що самі настроюються і самі організуються. В системах управління, що самі настроюються, пристрій адаптації на основі зібраної інформації про вхідні  $x$ , вихідні  $y$  і керуючі сигнали  $u$  подає команди в КП на модифікацію вставок або параметрів регуляторів таким чином, щоб досягти заданої мети управління. В системах управління, що самі організуються, поряд із цим виробляється модифікація структури системи так, щоб здійснити мету управління.

У системах управління, що самі настроюються, метою управління може бути, наприклад, досягнення екстремуму деякого статичного показника якості, причому положення екстремуму, зумовлене координатами, що контролюються системою управління, і неконтрольованими впливами, що збурюють, може в процесі експлуатації змінюватися невизначеним чином. У таких системах для досягнення мети управління й роботи в області екстремуму керуючий пристрій змінює відповідним чином завдання регуляторів системи. Метою управління може бути і досягнення динамічного показника якості, що характеризує динамічні властивості управління ЕП. Звичайно це функціонал, що залежить від координат і параметрів системи, наприклад, один з інтегральних критеріїв похибки. В цьому випадку досягнення екстремуму показника якості забезпечується автоматичною зміною параметрів системи управління (коефіцієнтів підсилення, постійних часу регуляторів і зворотних зв'язків). Такі системи називають системами з приладами, що самі настроюються та корегують [5].

По способу одержання інформації про поточне значення показника якості екстремальна системи підрозділяються на пошукові й безпошукові. У пошукових системах показник якості досягається за рахунок уведення в систему додаткових пошукових сигналів. У безпошукових (аналітичних) системах він розраховується аналітично за допомогою спеціального обчислювального пристрою. Якщо пошукові сигнали генеруються самою системою керування, то така система називається екстремальною системою з автоколивальним пошуком екстремума. При використанні

спеціального додаткового джерела пошукових сигналів реалізується система із примусовим пошуком екстремума [4].

У безпошукових адаптивних системах управління показник якості, який потрібен, досягається за допомогою еталонної моделі об'єкта управління. Така модель створюється на основі заздалегідь відомої інформації про об'єкт і включається в адаптивну систему управління.

Адаптивні системи з еталонними моделями та ідентифікаторами відносяться до класу безпошукових, тобто в них не використовуються додаткові сигнали, які призначені для пошуків бажаного режиму.

В класі безпошукових адаптивних систем розв'язуються задачі:

- регулювання об'єктів, параметри яких змінюються в широких межах з достатньою швидкістю;
- регулювання об'єктів з нелінійностями, що більш ефективно, ніж використання нелінійних ланок корекції;
- оптимізація системи керування за рахунок використання оптимальних моделей, у тому числі адаптивних;
- ідентифікація об'єктів у замкненому контурі та використання цієї інформації для процесів керування і діагностики, в тому числі виявлення передаварійних ситуацій;
- імітаційне моделювання та створення тренажерів для операторів складних об'єктів;
- підвищення експлуатаційної надійності систем керування;
- уніфікація алгоритмів адаптивного керування типовими процесами з розробкою пакетів прикладних програм;
- скорочення термінів розробки ефективних систем керування.

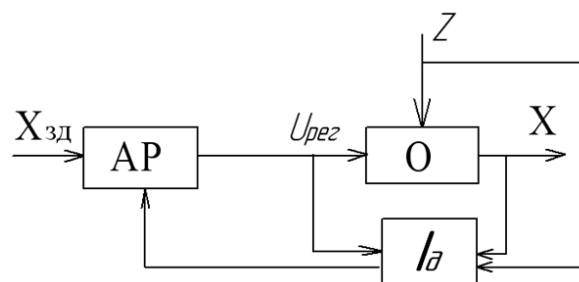


Рисунок 2 – Структура адаптивної системи з ідентифікатором

В адаптивних системах з ідентифікатором (рис.2.) синтез контура адаптації здійснюється за допомогою математичної моделі, яка визначається за допомогою спеціального пристрою – ідентифікатора  $I_d$ . В процесі функціонування об'єкта можуть уточнюватись як структура

моделі, так і її параметри, тобто сама модель є адаптивною, а процес ідентифікації включається в контур зворотнього зв'язку. Адаптивна система з ідентифікатором функціонує в двох режимах:

- навчання, коли ідентифікатор здійснює побудову моделі до того, поки похибка прогнозу вихідної змінної по моделі не стане меншою заданої величини;
- паралельний, коли уточнюється модель і одночасно здійснюється керування[3].

Залежно від інформації про ЕП і об'єкти управління розрізняють два види систем, що самі настроюються з динамічним показником якості. В безошукових адаптивних системах на основі наявної інформації створюється еталонна модель об'єкта, що забезпечує роботу системи з показником якості, який потрібен. В пошукових адаптивних системах інформація про об'єкт не повна і заздалегідь отримана бути не може, а повинна бути встановлена в процесі роботи.

У безошукових адаптивних системах управління показник якості, який потрібен, досягається за допомогою еталонної моделі об'єкта управління. Така модель створюється на основі заздалегідь відомої інформації про об'єкт і включається в адаптивну систему управління.

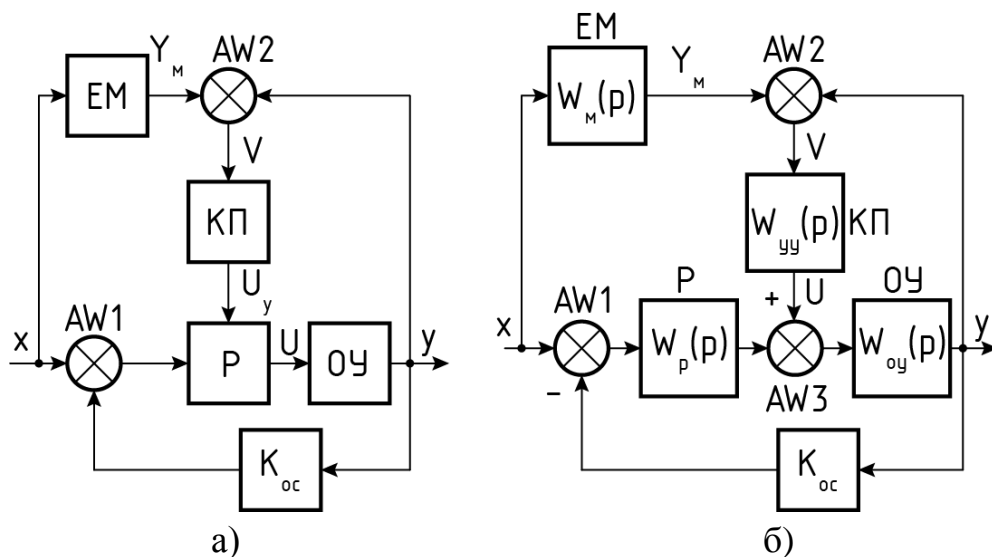


Рисунок 3 – Структурна схема системи адаптивного управління з моделлю: а – при параметричній самонастроюці; б – при сигнальній настроюці

Сигнали КП, що корегують у таких системах, можуть подаватися не на регулятор, а на вхід системи управління об'єктом, як показано на рис. 3а; в цьому випадкові параметри регулятора не змінюються. Така

самонастройка називається сигнальною. У безошукових адаптивних системах здійснюється стабілізація динамічних властивостей ЕП. Тому еталонна модель може бути подана у вигляді динамічної ланки з певною передавальною функцією. ПКВ при цьому повинен одержувати інформацію або безпосередньо про динамічні характеристики об'єкта управління, або визначити її побічно за можливими координатами, що вимірюються. При безпосередньому вимірюванні  $y$  й  $y_m$  ПКВ може виконувати роль суматора, що визначає відхилення  $\Delta y = y_m - y$ .

Адаптивну систему з параметричною настройкою можна уявити спрощеною структурною схемою на рис. 3а, а з сигнальною настройкою – структурною схемою на рис. 3б. Для з'ясування дії моделі розглянемо схему із сигнальною настройкою рис. 3б.

Сигнал завдання надходить паралельно на систему управління об'єктом і модель. Їх вихідні сигнали  $y$  і  $y_m$  порівнюються із суматором АW2, що виконує роль ПКВ, а їх різниця  $\Delta y = y_m - y$  подається у вигляді сигналу зворотного зв'язку  $u_y$  на вхід системи управління об'єктом за допомогою суматора АW3.

Передавальна функція такої системи має вигляд (1) де – передавальні функції відповідно об'єкта управління, моделі і ланцюга зворотного зв'язку. Якщо забезпечити високий коефіцієнт зворотного зв'язку, то одиницею в доданках числівника і знаменника порівняно з можна знехтувати. Тоді або (2)

$$W(p) = \frac{Y}{X} = \frac{W_{oy}(p) \cdot [1 + W_m(p) \cdot W_{oc}(p)]}{1 + W_m(p) \cdot W_{oc}(p)} \quad (1)$$

де  $W_{oy}(p)$ ,  $W_m(p)$ ,  $W_{oc}(p)$  – передавальні функції відповідно об'єкта управління, моделі і ланцюга зворотного зв'язку.

Якщо забезпечити високий коефіцієнт зворотного зв'язку, то одиницею в доданках числівника і знаменника порівняно з  $W_i(p)$ ,  $W_{oc}(p)$  можна знехтувати.

Тоді,

$$W(p) = \frac{Y}{X} = W_m \quad \text{або} \quad Y = X \cdot W_m(p) \quad (2)$$

З формули (2) видно, що вихідна координата об'єкта управління визначається лише динамічними властивостями моделі. Роботу адаптивної системи управління, що сама настроюється, з моделлю розглянемо на прикладі системи управління швидкістю двигуна постійного струму, структурна схема якої наведена на рисунку 4. Показниками якості

динамічного процесу двигуна є швидкість двигуна і її перша й друга похідні. Тому вихід еталонної моделі подає сигнали, що визначають бажане значення швидкості  $U_c$ , м, її першої  $c$ , м та другої похідних.

Вихідні сигнали об'єкта – тиристорного ЕП постійного струму – також характеризують швидкість двигуна, її першу й другу похідні. Сигнал, пропорційний швидкості двигуна, знімається з тахогенератора, а сигнали, пропорційні першій і другій похідним, забезпечуються приладом, що називається спостерігачем, на який подається сигнал завдання швидкості  $U_{zc}$  і сигнал зворотного зв'язку за швидкістю, що характеризує швидкість двигуна. Вихідні сигнали моделі порівнюються з вихідними сигналами об'єкта суматорами  $AW1 - AW3$ . Відповідні сигнали з урахуванням своїх вагових коефіцієнтів підсумовуються суматором  $AW4$  в єдиний сигнал самонастроювання. Цей сигнал через пристрій, що обмежує  $A_{обм}$ , подається на вхід системи управління ЕП (суматор  $AW$ ), створюючи контур сигнальної самонастройки, що компенсує зміни параметрів об'єкта, пов'язані з режимами роботи тиристорного перетворювача.

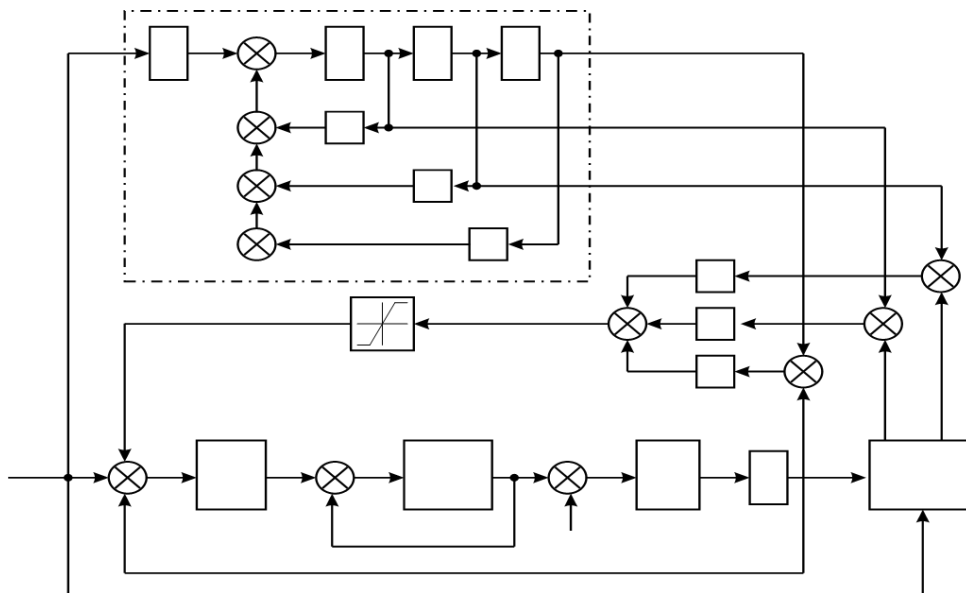


Рисунок 4 – Структурна схема системи управління ЕП постійного струму, що сама настраюється, з еталонною моделлю

Розглянута адаптивна система ЕП постійного струму з еталонною моделлю і спостерігачем забезпечує оптимальні перехідні процеси з одним коливанням, мінімальним перерегулюванням і високою швидкодією системи при впливах, що задають та збурюють.

Прикладом системи, що сама настроюється, з параметричною самонастройкою може служити система з адаптивним регулятором струму (АРС).

Така АРС застосовується в тиристорних ЕП постійного струму з підлеглим регулюванням координат. У цих системах ІІІ – регулятор струму, що приймається, вибирається при роботі ЕП у режимі безперервних струмів.

Структурна схема такого пристрою приведена на рисунку 5.

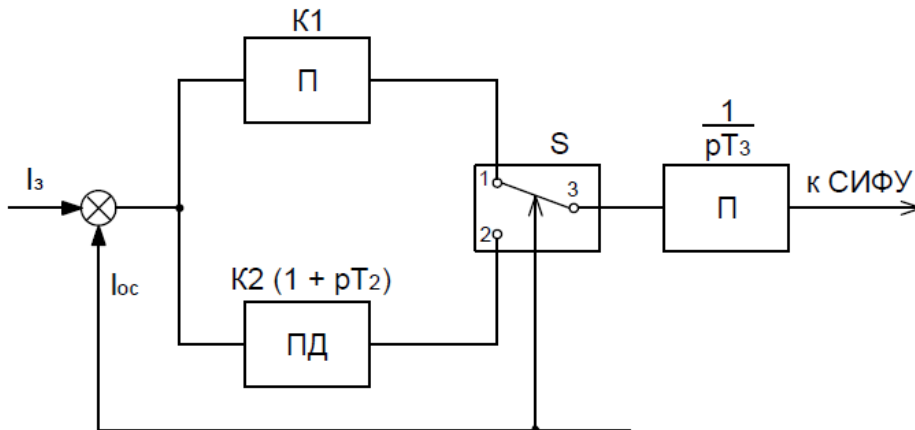


Рисунок 5 – Структурна схема АРС

Згідно структурній схемі (рисунок 5) ключ S працює в функції струму. При наявності струму в ланцюзі якоря машини ключ S замикає контакти 2-3, утворюючи при цьому послідовне з'єднання ПД і І-ланок. В результаті такого з'єднання отримуємо регулятор з ІІІ характеристикою.

Передавальна функція ІІІ – регулятора струму – має вигляд:

$$W'_{PT}(p) = \frac{T_{я} \cdot R}{2 \cdot T_{\mu} \cdot k_n \cdot k_m} = k_{PT} + \frac{1}{T_{PT} p} \quad (3)$$

де,  $R$  – активний опір ланцюга якоря,  $k_n, k_m$  – коефіцієнти підсилення перетворювача й зворотного зв'язку за струмом;  $k_{PT}, T_{PT}$  – коефіцієнт підсилення та постійна часу  $PT$  [6].

**Висновки.** Нами були розглянуті теоретичні основи системи управління електроприводом. Проведено огляд систем і принципи побудови, а саме безпошукових та пошукових систем адаптивного керування електроприводів.

На теперішній час використання адаптивних систем керування електроприводом широко використовується в керуванні електромеханічними пристроями електропобутової техніки, тому що в адаптивних системах управління ЕП керуючі впливи або алгоритми



управління автоматично змінюються з метою здійснення кращого управління об'єктом (приладом).

### Список використаних джерел

1. Електропривод з адаптивним керуванням – [Електронний Ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://lektsii.com/1-51577.html>
2. Мовчан А.П. Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління. Навч. посіб. / Мовчан А.П., Степанець О.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 108 с.
3. Адаптивні системи автоматичного керування [Електронний Ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://ukrdoc.com.ua/text/52186/index-1.html?page=7>
4. Писаренко А.В. Адаптивна система керування об'єктом другого порядку зі змінними параметрами та шумами вимірювання / А.В. Писаренко, М.П. Татауров // Проблеми інформатизації та управління, Київ - №2(46) – 2014. С. 50-59.
5. Адаптивні системи керування ЕП. Безпошукові та пошукові системи [Електронний Ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://slide-share.ru/36-adaptivni-sistemi-keruvannya-ep-bezposhukovi-ta-poshukovi-sistemi-119076>
6. Учебное пособие для ВУЗов. - Выходные данные отсутствуют. - 275 с.: ил. – [Електронний Ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://www.twirpx.com/file/2169570/>