

УДК
 Павлова М.С. студент, керівник Торопов А.В.,
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ

This work is dedicated to form of highly accurate position control systems of elevator cab. Regulator by frequency response method is synthesized and the using of adaptive control, ensuring the aperiodicity of the transition process with a zero static error is suggested.

Дана робота присвячена проблемі побудови високоточних систем керування положенням ліфтової кабіни. Синтезован регулятор методом частотних характеристик, а також було запропоновано використання адаптивної ланки, що забезпечує аперіодичність перехідного процесу з нульовою статичною помилкою.

Эта работа посвящена проблеме построения высокоточных систем управления положением лифтовой кабины. Синтезирован регулятор методом частотных характеристик и предложено использование адаптивного звена, обеспечивающего аперіодичность переходного процесса с нулевой статической ошибкой.

В настоящее время для лифтовых установок при высоких требованиях к позиционированию кабины все чаще используются не концевые выключатели, а система управления с внешним контуром регулирования положения. При этом сигнал обратной связи по положению может сниматься как с датчика положения вала двигателя (энкодера или резольвера), так и датчика положения кабины лифта. Так как лифтовая установка представляет собой двухмассовую электромеханическую систему, то намного более высокая точность позиционирования обеспечивается именно за счет использования датчиков положения кабины (лазерных и штрих-кодовых) [1].

В то же время использование классических линейных регуляторов положения, в частности ПИ-регулятора и регулятора с упреждающей связью не позволяют получить высокое качество регулирования в таких системах [2]. Поэтому, целесообразно использование более сложных современных регуляторов, простых в реализации и настройке. Одним из перспективных направлений в этом случае является применение адаптивных регуляторов с эталонной моделью [3].

Структурная схема двухмассовой электромеханической системы с асинхронным электродвигателем с внутренними контурами регулирования момента и скорости вала двигателя имеет вид, изображенный на рис.1 [4].

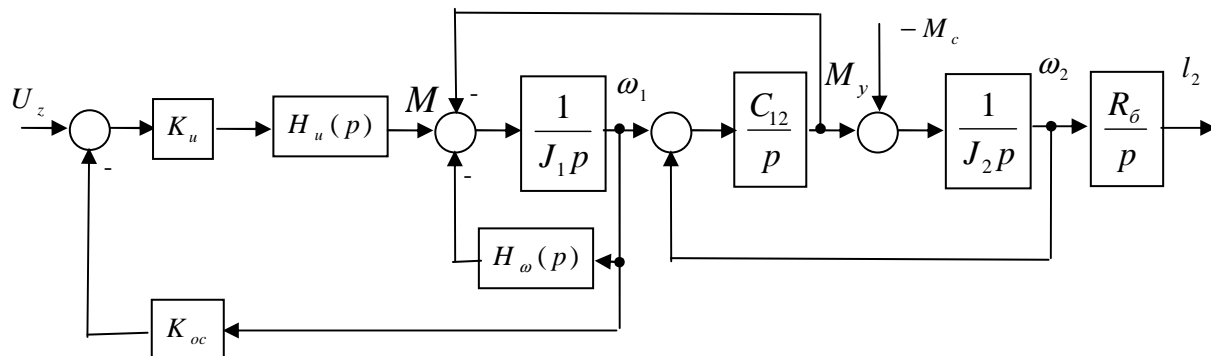


Рис.1. Структурная схема двухмассовой электромеханической системы с

асинхронним електродвигателем.

На рис.1 введені наступні позначення: U_z - напруга задання, поступаюче на частотний преобразователь; M - момент асинхронного двигателя; ω_1 - швидкість обертання вала двигателя; M_y - упругий момент електромеханічної двохмасової системи; M_c - момент навантаження другої маси; ω_2 - приведена кутова швидкість другої маси; l_2 - лінійне переміщення кабіни ліфта; J_1, J_2 - моменти інерції першої і другої мас, відповідно; C_{12} - жорсткість каната; R_6 - радіус барабана; K_{oc} - коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; K_u - коефіцієнт посилення регулятора швидкості; $H_u(p)$ - передаточна функція контуру регулювання моменту; $H_\omega(p)$ - передаточна функція залежності моменту навантаження від швидкості двигателя.

Також в роботі [4] отримано, що залежність швидкості від збурюючих факторів у вигляді напруги управління U_z і статического моменту M_c визначається виразом:

$$\omega_2(p) = \frac{C_{12}K_uH_u(p)U_z - \{H_\omega(p) + H_u(p)K_uK_{oc}\}p + (C_{12} + J_1p^2)M_c}{(J_2p^2 + C_{12})\{H_\omega(p) + H_u(p)K_uK_{oc}\} + J_1J_2p^3 + C_{12}(J_1 + J_2)p} \quad (1)$$

Оскільки для ліфтових установок момент навантаження на вал двигателя не залежить від швидкості переміщення і статический момент для другої маси не впливає на стійкість системи, то можна зробити допущення, що $H_\omega(p) = 0$ і $M_c = 0$.

Тоді вираз (1) переписується:

$$\omega_2(p) = \frac{C_{12}K_uH_u(p)U_z}{(J_2p^2 + C_{12})H_u(p)K_uK_{oc} + J_1J_2p^3 + C_{12}(J_1 + J_2)p} \quad (2)$$

В такому випадку передаточна функція контуру регулювання швидкості при П-регуляторі швидкості має вигляд:

$$W_{sc}(p) = \frac{C_{12}K_uH_u(p)}{(J_2p^2 + C_{12})H_u(p)K_uK_{oc} + J_1J_2p^3 + C_{12}(J_1 + J_2)p} \quad (3)$$

Осуществим вибір регулятора положення за допомогою застосування логарифмічних частотних характеристик [5]. При цьому з метою спрощення розрахунків приймаємо контур регулювання моменту безінерційним звеном, що допустимо, так як швидкодія контуру моменту значно вище, ніж у зовнішньому контурі регулювання швидкості і положення, тобто $H_u(p) = K_m$.

Для отриманої передаточної функції контуру регулювання швидкості приймаємо наступні значення параметрів: $C_{12} = 232,43 \text{ Н/м}$, $J_1 = 2,71 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_2 = 5,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $K_m = 58,32 \text{ Н/В}$, $K_u = 0,1$, $K_{oc} = 0,1$.

При вибраних параметрах передаточна функція розімкнутого контуру регулювання положення з одиничною зворотною зв'язкою запишеться у вигляді послідовного з'єднання інтегруючого, апериодического першого порядку і коливального звена, близького за характеристиками до консервативного, так як показник коливальності цього звена $\xi < 0,01$.

При цьому ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої системи мають вигляд, зображений на рис.2. При вибраних параметрах система буде стійкою, однак якість перехідного процесу може бути незадовільною, внаслідок невеликого запасу по фазі.

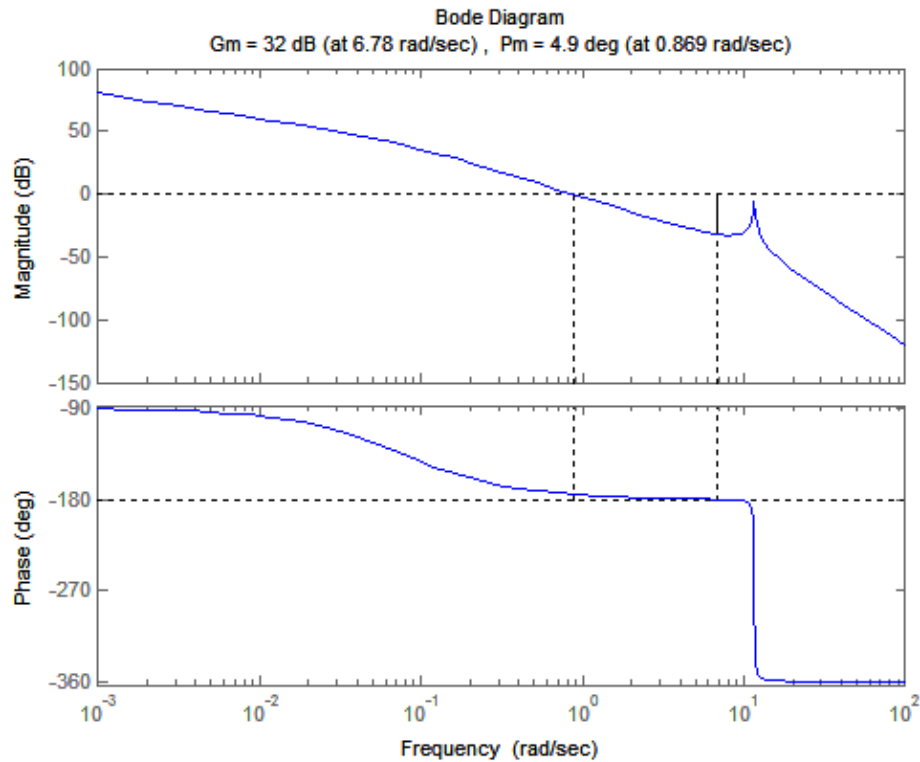


Рис.2. ЛАЧХ и ЛФЧХ исходной системы регулирования.

В качестве корректирующего устройства выбираем регулятор вида [6]:

$$W_{pez}(p) = \frac{T_{k1}p + 1}{T_{k2}p + 1}, \quad (4)$$

где T_{k1} , T_{k2} - постоянная времени корректирующего устройства, причем $T_{k1} = 2c$, $T_{k2} = 0,5c$.

Недостатком синтезированного регулятора является то, что он не обеспечивает нулевой статической ошибки по выходной координате. Вследствие этого возникает необходимость применения адаптивной составляющей эталонной модели, обеспечивающей системе инвариантность к внешним и внутренним параметрическим возмущениям.

В общем виде математическая модель регулируемого объекта с эталонной моделью имеет вид, изображенный на рис.3.

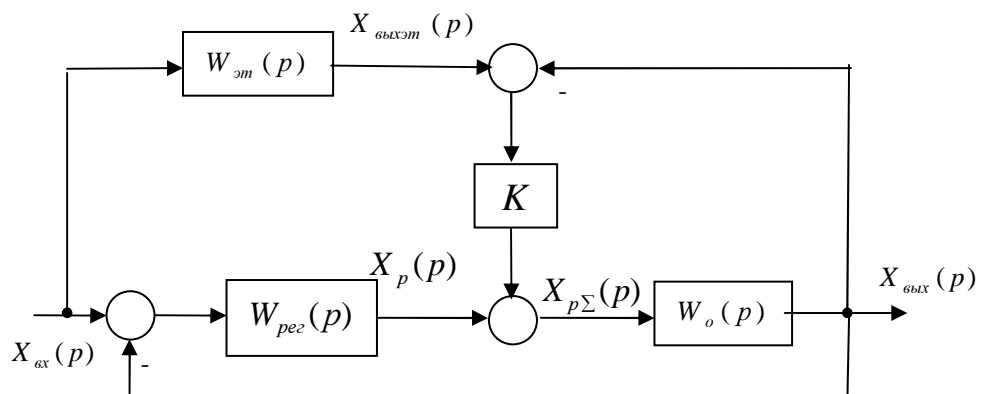


Рис.3. Структурная схема математической модели электропривода лифтовой установки. На рис.3. введены следующие обозначения:

$W_{pez}(p)$ - передаточная функция регулятора положения; $W_o(p)$ - передаточная

функция объекта регулирования; $W_{эм}(p)$ - передаточная функция эталонной математической модели контура регулирования положения кабины; K - коэффициент усиления рассогласования эталонного и текущего перемещения; $X_{вх}(p)$ - задающее значения положения, определяемое профилем движения; $X_{вых}(p)$ - текущее положение кабины; $W_{эм}(p)$ - эталонное положение кабины лифта; $X_p(p)$ - сигнал на выходе регулятора положения без учета коррекции; $X_{p\Sigma}(p)$ - сигнал на выходе регулятора положения с учетом коррекции.

Переходя от структурной схемы к уравнению в операторной форме, получим:

$$\begin{aligned} X_{вых}(p) &= W_o(p) \cdot X_{p\Sigma}(p) = \\ &= W_o(p) \cdot [K(W_{эм}(p)X_{вх}(p) - X_{вых}(p))] + W_{пее}(p)(X_{вх}(p) - X_{вых}(p))] = \\ &= W_o(p) \cdot K \cdot W_{эм}(p)X_{вх}(p) - W_o(p) \cdot X_{вых}(p) + W_o(p) \cdot W_{пее}(p) \cdot X_{вх}(p) - \\ &- W_o(p) \cdot W_{пее}(p) \cdot X_{вых}(p) \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда, далее преобразовывая, получаем:

$$X_{вых}(p) \cdot [1 + W_o(p) \cdot K + W_{пее}(p)] = X_{вх}(p) \cdot [W_{пее}(p) + W_o(p) \cdot K \cdot W_{эм}(p)] \quad (6)$$

Окончательно передаточная функция системы запишется:

$$W_{зс}(p) = \frac{X_{вых}(p)}{X_{вх}(p)} = \frac{W_{пее}(p) + W_o(p) \cdot K \cdot W_{эм}(p)}{1 + W_o(p) \cdot K + W_{пее}(p)}. \quad (7)$$

Из полученного выражения, очевидно, что $W_{зс}(p) \rightarrow W_{эм}(p)$ при $K \rightarrow \infty$.

При этом эталонной по скорости будем рассматривать математическую модель системы, которая является абсолютно жесткой, то есть $C_{12} \rightarrow \infty$. В этом случае эталонная математическая модель определится выражением:

$$W_{эмс}(p) = \frac{K_u H_u(p)}{(J_1 + J_2)p + H_u(p)K_u K_{oc}}. \quad (8)$$

При этом порядок системы будет определяться порядком передаточной функции контура регулирования момента.

В случае использования П-регулятора в математической модели эталонной системы регулирования положения и представлении контура регулирования момента безинерционным звеном, передаточная функция эталонной модели замкнутого контура регулирования положения будет представлять собой аperiодическое звено второго порядка:

$$W_{эмн}(p) = \frac{1/K_{II}}{(T_{кн1}p + 1) \cdot (T_{кн2}p + 1)}, \quad (9)$$

где K_{II} - коэффициент обратной связи по положению, $T_{кн1}$, $T_{кн2}$ - постоянные времени замкнутого контура положения.

При этом в системе будет обеспечиваться переходной процесс без перерегулирования с нулевой статической ошибкой.

Исследование динамической системы с эталонной математической моделью было проведено методом цифрового моделирования с использование программного обеспечения Matlab. Графики переходных процессов при использовании регулятора с упреждающей обратной связью и синтезированного адаптивного регулятора (кривая 2) представлены на рис.4.

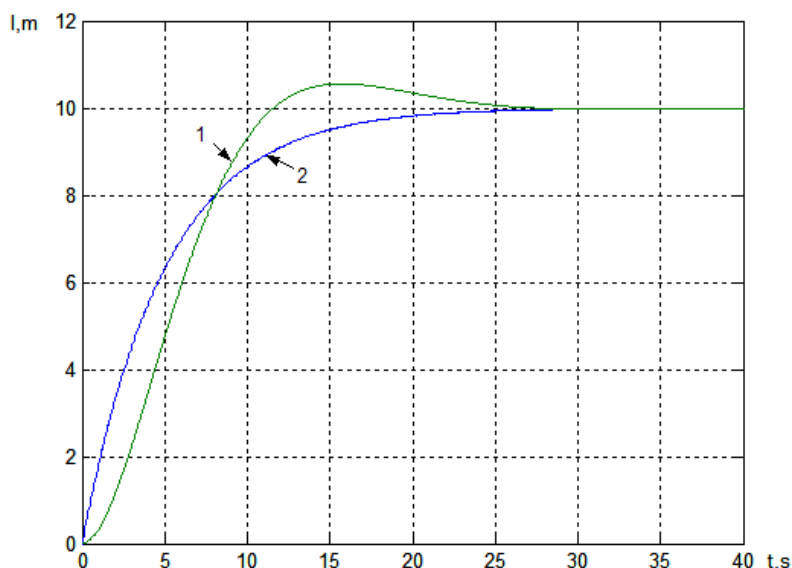


Рис.4. Графики переходных процессов по положению кабины при использовании регулятора с упреждающей обратной связью (кривая 1) и синтезированного адаптивного регулятора (кривая 2).

Очевидно, что в случае использования адаптивного регулятора положения качество переходного процесса значительно лучше, так как отсутствует перерегулирование, уменьшается время переходного процесса, по сравнению с классическим регулятором с упреждающей обратной связью. Дальнейшее улучшение качества регулирования возможно за счет использования оптимальных и квазиоптимальных законов управления, учитывающих наличие ограничения на управление, а также других существенных нелинейностей.

Литература.

1. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: Schneider electric. Электрон. Данные. , 200[?].— Режим доступа: [http://www.global-download.schneider-electric.com/85257563005C5E7D/all/C125713F005265E2C12574D50022A2FC/\\$File/lxm05c_manual_v100_te_en.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/85257563005C5E7D/all/C125713F005265E2C12574D50022A2FC/$File/lxm05c_manual_v100_te_en.pdf), свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.

2. Системы позиционирования и измерения расстояния, скорости. [Электронный ресурс]: Leuze electronic. - Электрон. Данные. , 200[?].— Режим доступа: http://www.leuze-electronic.ru/products_de14.html, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.

3. Кудін В.Ф., Яремов О.І., Карімі Мохсен. Адаптивна система стабілізації зусилля різання процесу металообробки з еталонною моделлю // Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наук. праць VII Всеукр. н.-т. конф. молодих учених і спеціалістів, м. Кременчук, 2-4 квітня 2009 р. - Кременчук, КДПУ, 2009. - С.131-133.

4. Герасимьяк Р.П., Хгуен В.Х., Здросис К.П. Динамические режимы электромеханической системы с асинхронным электроприводом. / Міжвідомчий науково – технічний збірник „Електромашинобудування та електрообладнання”. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» - Київ: „Техніка” – 2006. – с. 30-32.

5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Изд. 3-е, испр. - М.: Наука, 1975 - 768 с.

6. В.Ф.Кудин, О.И.Киселичник, С.А.Воронцов. Синтез цифрового регулятора контура стабилизации усилия резания с учетом нелинейности исполнительного механизма. Механика и машиностроение. Научно-технический журнал. №2. Харьков, 2004. –с.241-248.