ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ ОЧИСТКИ ВИЛИВОК

М.Б.Соболева, Л.Є. Овчиннікова, Н.С. Назарова

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України

327018, м. Миколаїв 18, проспект Жовтневий, 43А,

Тел. (0512) 22-41-13, факс (0512) 22-61-40,

E-mail: ipre@iipt.aip.mk.ua

Авторами запропоновано метод технічної діагностики вектору стану системи автоматичного управління (САУ) технологічним процесом електрогідравлічної очистки виливок. В результаті аналізу динаміки отримані параметри вектору управління САУ, необхідні для забезпечення її стійкої роботи.

ВСТУП

Стійкість роботи системи автоматичного управління технологічним процесом електрогідравлічної очистки виливок значною мірою залежить від можливості технічної діагностики вектору стану САУ. Предметом даної доповіді є побудова моделі САУ та дослідження динаміки вектору стану.

1. МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Дослідження динаміки САУ проведене для окремого випадку регулювання довжини розрядного проміжку. Використані рівняння динаміки переміщення виконавчого органу в три-мірній робочій області. Особливістю регулювання є те, що для горизонтального переміщення використовуються асинхронні приводи без регулювання, і управління відбувається тільки вертикальним асинхронним приводом. Таким чином усталена горизонтальна швидкість V_d є постійною. Вибір V_d відбувається у відповідності з технологічним режимом. Для забезпечення заданої V_d вибирають коефіцієнти передачі в приводах горизонтального переміщення по співвідношенням:

$$V_d = V_x \cos\gamma_x + V_y \sin\gamma_x \qquad (1)$$

Рівняння, що описують основні кінематичні співвідношення, а також рівняння змінної довжини розрядного проміжку мають вигляд:

$$V_d = V_y \sin\gamma_x + V_x \cos\gamma_x,$$

$$V_z = k_{2z}\omega_z,\ V_x = k_{2x}\omega_x,\ V_y = k_{2y}\omega_y, \qquad (2)$$

$$V_N = V_z \cos\alpha + V_d \sin\alpha,$$

$$V_s = V_z \sin\alpha + V_d \cos\alpha$$

$$l = \int_0^{T_u} V_N\, dt + l_0,$$

Де l - довжина розрядного проміжку; V_z - швидкість переміщення вертикального приводу; V_x - швидкість переміщення горизонтального приводу по осі 0_x базової системи координат; V_y - швидкість переміщення горизонтального приводу по осі 0_y базової системи координат; γ_x, γ_y - кути між заданим напрямком руху в горизонтальній площині і осями 0_x, 0_y; V_N - нормальна до поверхні швидкість переміщення робочого органу; V_d - горизонтальна швидкість; α – кут нахилу поверхні обробки, до горизонтальної площини, $k_{2x,\ y,\ z}$ - коефіцієнти передачі відповідних редукторів.

Рівняння руху електроприводу мають вигляд:

$$\begin{cases} T_{npz}\dfrac{d\omega_z}{dt}+\omega_z=k_{1z}U\Psi, \\ T_{npx}\dfrac{d\omega_x}{dt}+\omega_x=k_{1x}U, \\ T_{npy}\dfrac{d\omega_y}{dt}+\omega_y=k_{1y}U, \end{cases} \qquad (3)$$

де $\omega_{x,\ y,\ z}$ - кутові швидкості на валах відповідних двигунів; $T_{npx,\ y,\ z}$ - постійні часу відповідних приводів; k_1 - коефіцієнти швидкості відповідних двигунів; Ψ - функція регулятора; U - напруга, що подається. Система (2) має сімейство рішень для різноманітних значень α. Цей кут залежить від форми заготівки і може бути описаний аналітичною залежністю:

$$\alpha=f_1(x_d), \qquad (4)$$

де x_d - проекція переміщення електрода на горизонтальну площину.

Форма залежності (4) визначається типорозміром деталі, що обробляється. На практиці, звичайно, лінія перетину площини руху електрода з поверхнею обробки є ломаною. Тому функція (4) - кусково-лінійна, що викликає зміну коефіцієнтів в рівняннях стану системи (2) при переході від однієї лінійної дільниці до іншої. Залежність (4) використовується для визначення коефіцієнтів в рівняннях системи (2) при розв`язанні задач управління для конкретних систем.

Система автоматичного управління є дискретною з квантуванням сигналу за часом, тому відбувається запізнання керуючого впливу регулятора від вихідного сигналу, що надходить з виходу об'єкту управління. Математичне сподівання цього запізнення $\theta = T_u/2=0{,}25c$. Тому при дослідженні перехідного процесу необхідно враховувати вплив запізнення θ на його якість.

Поведінка системи описана дискретним відображенням

$$x_{n+1}=f(x_n), \qquad (5)$$

де n - лічильник відображення, f - оператор відображення.

Для тримірної системи координат, що відповідає технологічній установці, існує аналітичне рішення в відображенні Пуанкаре, що дозволяє прогнозувати і рекомендувати початкові дані для вибору коефіцієнтів приводів горизонтального і вертикального переміщень. Проміжки часу, через які знаходились відображення, вибрані рівними періоду імпульсів T_u. Дискретні відображення вертикальної координати положення робочого органу можна записати наступним чином:

$$\begin{cases} z_{n+1}=z_n+S_1,\ \text{при}\ i_m>\sigma_i,\ \Psi{:}0\to 1, \\ z_{n+1}=z_n+S_2,\ \text{при}\ i_m>\sigma_i,\ \Psi{:}1\to 1, \\ z_{n+1}=z_n+S_3,\ \text{при}\ i_m<-\sigma_i,\ \Psi{:}1\to -1, \\ z_{n+1}=z_n+S_4,\ \text{при}\ i_m<-\sigma_i,\ \Psi{:}0\to -1, \\ z_{n+1}=z_n+S_5,\ \text{при}\ i_m<-\sigma_i,\ \Psi{:}-1\to -1, \\ z_{n+1}=z_n+S_6,\ \text{при}\ i_m>\sigma_i,\ \Psi{:}-1\to 1, \\ z_{n+1}=z_n+S_7,\ \text{при}\ 0<i_m<\sigma_i,\ \Psi{:}1\to 0, \\ z_{n+1}=z_n+S_8,\ \text{при}\ 0>i_m>-\sigma_i,\ \Psi{:}-1\to 0, \\ S_4=-S_1, S_5=-S_2, S_6=-S_3, S_8=-S_7. \end{cases} \qquad (6)$$

де S_k - переміщення робочого органу САР; Ψ показує значення на виході релейного елемента в моменти часу n-1 і n (тобто при переключенні Ψ: 0-1, двигун вертикального переміщення розганяється і, отже, S_1 - переміщення електрода при розгоні двигуна); S_2 - переміщення електрода зі швидкістю, що встановилася, S_3 - переміщення електрода при зміні напряму руху приводу на протилежне, S_7 - переміщення приводу при гальмуванні; $k=1, 2\ldots 8$. Де $S_d=V_dT_u$ - переміщення, викликане горизонтальним приводом за час T_u. Значення S_k визначені при розв`язанні системи (3) для заданих в (6) значень Ψ:

$$\begin{cases} \varpi_1 = \varpi_{yc}\, m(1-e^{-\frac{t}{T_{np}}}), \\ \varpi_2 = \varpi_{yc}\, m \\ \varpi_3 = 2\varpi_{yc}\, m(1-e^{-\frac{t}{T_{np}}}) - \varpi_{yc}\, m \\ \varpi_7 = \varpi_{yc}\, m\, e^{-\frac{t}{T_{np}}}, \\ z_1 = k_{2z}\varpi_{yc}\, m(T_u + T_{np}(1-e^{-\frac{t}{T_{np}}}))\cos\alpha + S_d \sin\alpha, \\ z_2 = k_{2z}\varpi_{yc}\, m\cos\alpha + S_d \sin\alpha, \\ z_3 = k_{2z}\varpi_{yc}\, m(T_u - 2T_{np}(1-e^{-\frac{t}{T_{np}}}))\cos\alpha + S_d \sin\alpha, \\ z_7 = k_{2z}\varpi_{yc}\, m(T_{np}(1-e^{-\frac{t}{T_{np}}}))\cos\alpha + S_d \sin\alpha, \end{cases} \quad (7)$$

Рішення системи (6) описують вертикальну координату положення робочого органу. На підставі цих рішень, проведено дослідження динаміки вектору стану системи автоматичного управління режимом розряду.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ САУ

Отже, при відхиленні вихідної координати i_m, до величини, що перевищує поріг спрацьовування порогового пристрою, подається сигнал на включення вертикального привода для усунення відхилення координати l від оптимального значення. Поріг спрацьовування будемо в подальшому значити σ_i. Поріг чуттєвості відхилення робочого органу δ, відповідний σ_i, визначається по формулі $\delta=\sigma_i/k_0$. Вибираючи величину σ_i, ми повинні добитися того, щоб за проміжок часу між двома спрацьовуваннями релейного елементу T_u, величина l влучила в задані межі $l_{опт} - \delta < l < l_{опт}+\delta$, після чого двигун зупиниться. В іншому випадку двигун буде працювати без зупинок і стан рівноваги не буде досягнутий. Для визначення відповідності значення δ вибраному електроприводу, проведемо дослідження характеру поведінки системи в залежності від параметру 2δ.

Початковими даними для дослідження є:

1) Значення z_k, $k=1..8$ в загальному вигляді. Конкретні значення z_k можуть бути отримані по (7).

2) Значення 2δ.

Поведінка системи була розглянута на фазовій площині (x_n, x_n), і в системі координат (n, x_n), де $x_n=l_n - l_{опт}=z_n - z_{опт}$ - відхилення регульованої величини від оптимальної.

Процес імпульсного перетворення енергії має дискретний характер, тому момент формування керуючого впливу настає не при досягненні системою контрольного положення (наприклад, положення рівноваги), а в момент підводного розряду, настання якого задане періодом T_u. Тому значення відображення Пуанкаре і положення

відповідної крапки на фазовій площині залежить від початкових умов відносно оптимального значення регульованої величини.

ВИСНОВКИ

Розглянувши можливі типи асимптотичної поведінки САУ при різноманітному співвідношенні параметрів регулювання 2δ і z_k, можна зробити наступні висновки:

1) Характер поведінки САУ залежить від ширини зони нечуттєвості регулятора і може являти собою незгасаючі коливання з періодами $2T_u$, $3T_u$, $4T_u$, або стан стійкої рівноваги.

2) САУ досягає стану сталої рівноваги при будь-якому початковому положенні електрода тільки за умови, що ширина зони нечуттєвості регулятора більше біфуркаційного значення параметру:

$$2\delta=z_1+z_7, \qquad (8)$$

де z_1 - переміщення електрода при розгоні приводу; z_7 - переміщення електрода при гальмуванні приводу.

При цьому можливо перерегулювання:

$$\sigma=|z_{пер}-z_{нач}|/z_{нач}, \qquad (9)$$

де $z_{пер} \leq z_2+z_7-2\delta$; z_2 - переміщення електрода при усталеній швидкості приводу.

Коливальність може прийняти одне з двох значень $\mu=0$ або $\mu=1$. Імовірність того, що перерегулювання ν дорівнює нулю, менше одиниці. Імовірність того, що коливальність дорівнює нулю, менше одиниці.

3) Можна забезпечити $\nu=0$, тобто виключити перерегулювання САУ. Для цього ширина зони нечуттєвості регулятора повинна бути більше біфуркаційного значення параметру $2\delta=z_2+z_7$.

4) Тривалість перехідних процесів дозволяє досягнути усталеного стану системи за T_u.

В результаті вищезгаданого можуть бути зроблені наступні рекомендації для вибору коефіцієнта передачі редуктора приводу.

Для забезпечення оптимального управління САУ необхідно встановити відповідність значення параметру 2δ, що характеризує стійку роботу САУ (відсутність коливань), і значення зони нечуттєвості релейного елементу, що забезпечує підтримання оптимального технологічного режиму. Співвідношення між цими двома величинами повинно задовольняти умові $\delta=\sigma_i/k_0$. Причому, саме значення σ_i, що вибирається з умови досягнення максимальної ефективності режиму очистки, або, в загальному випадку, з умови оптимального технологічного режиму, визначає значення параметру 2δ. Після визначення параметру 2δ необхідно привести в відповідність йому значення z_1 і z_7 (переміщення приводу при розгоні і гальмуванні) згідно (7), тобто підібрати необхідні коефіцієнти передачі k_2.

Вимоги для забезпечення стійкої роботи САУ в тримірному геометричному просторі можна сформулювати слідуючим чином: коефіцієнти редукторів приводів горизонтального $k_{2г}$ і вертикального $k_{2в}$ переміщення повинні бути вибрані таким чином, щоб виконувалася умова:

$$S_n=T_uV_n=(-V_d\sin(\alpha)+V_z\cos(\alpha))T_u<2\delta,$$

Або

$$(z_{1г}+z_{7г})\sin(\alpha)+(z_{1в}+z_{7в})\cos(\alpha)<2\delta,$$

де S_n - проекція переміщення електрода на лінію каналу розряду; $z_{1г}$, $z_{7г}$ - переміщення горизонтального приводу при розгоні і гальмуванні двигуна; $z_{1в}$, $z_{7в}$ - переміщення вертикального приводу при розгоні і гальмуванні двигуна.