

Лекція №2. Приведення J , M_c , F_c , m і C -жорсткостей пружних елементів до розрахункової швидкості та розрахункові схеми механічної частини електропривода.

2.1. Загальні положення.

Зазвичай значна частина виробничих механізмів працює при невеликій швидкості робочих органів (100-300 об/хв.), в той час як двигуни виходячи з економічних міркувань конструюються на швидкості 750-3000 об/хв. Тому між двигуном і механізмом розміщується передавальний пристрій (зазвичай редуктор), окремі елементи якого рухаються з різними швидкостями.

Для вибору двигуна в більшості випадків необхідно мати навантажувальну діаграму електропроводу $M(t)$ або $P(t)$ або $I(t)$. Її можна збудувати тільки після розрахунку перехідних процесів. Для цього необхідно знати сумарний момент інерції системи і сумарний момент опору. Кінематична схема електроприводу дає уявлення про механічні зв'язки між рухомими інерційними масами конкретної установки, проте вона не відображає того, що інерційні маси рухаються з різними швидкостями. Тому навіть однакові моменти інерції складати для отримання сумарного моменту інерції не можна, так як їх динамічна дія різна. Те ж можна сказати про сили і про моменти, а також поступально-рухомі мас.

Крім того, по кінематичній схемі не можна судити наскільки елементи системи при навантаженні зазнають деформації, так як вони володіють жорсткістю. Тому при практичних розрахунках з допомогою кінематичної схеми складаються розрахункові схеми механічної частини електропривода, в яких J , M_c , F_c , m , а також реальні жорсткості "С" механічних зв'язків замінюються еквівалентними величинами, приведеними до однієї розрахункової швидкості, за яку зазвичай беруть швидкість вала двигуна.

При заміні реальної системи еквівалентною системою всі J , M_c , F_c , m і C повинні бути перераховані таким чином, щоб в еквівалентній схемі було збережено рівність запасів кінетичної і потенційної енергії вихідної (реальної) системи, а також елементарної роботи всіх діючих в системі сил і моментів на можливих переміщеннях. Якщо система електроприводу складається з декількох інерційних елементів, що мають моменти інерції J_1, J_2, \dots, J_M , що обертаються з кутовими швидкостями $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$ (рис.2.1), і є абсолютно жорсткою, їх динамічну дію можна замінити дією одного моменту інерції $J_{пр}$, приведенного до розрахункової швидкості (валу двигуна).

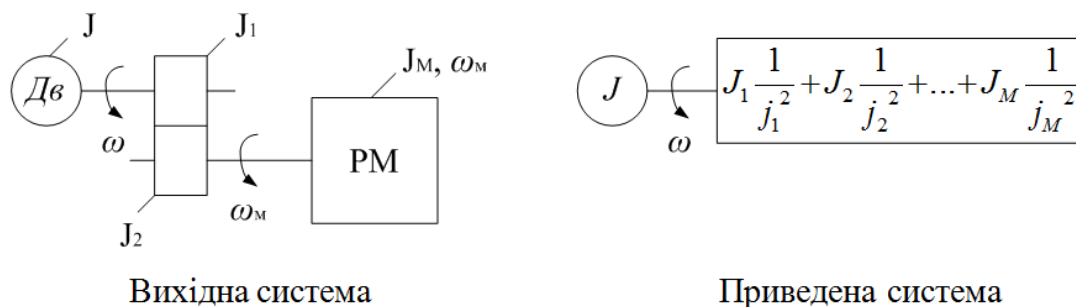


Рис.2.1.

Під ним розуміють момент інерції найпростішої системи, в якій всі елементи обертаються зі швидкістю осі, до якої проводиться приведення, і яка володіє при цьому запасом кінетичної енергії, рівним запасу енергії в вихідній системі.

В цьому випадку

$$J_{np} = J \frac{\omega^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_M \frac{\omega_M^2}{2}.$$

Звідси

$$J_{np} = J + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega} \right)^2 + \dots + J_M \left(\frac{\omega_M}{\omega} \right)^2 = J + J_1 \frac{1}{j_1^2} + J_2 \frac{1}{j_2^2} + \dots + J_M \frac{1}{j_M^2},$$

де j_1, j_2, \dots, j_M – передавальні відношення між віссю (валом) двигуна і осями окремих обертових елементів.

Часто приведення момент інерції системи вважають рівним сумі моментів інерції двигуна і приведенного моменту інерції робочої машини, а моменти інерції ланок передавального механізму (редуктора) враховують збільшення моменту інерції двигуна в " δ " раз, тобто

$$J_{np} = \delta \cdot J + J_M \cdot \frac{1}{j_M^2},$$

де $\delta = 1,1 \div 1,3$.

Аналогічно виконується приведення мас, що рухаються поступально зі швидкістю V до розрахункової швидкості.

Замінімо, наприклад, систему підйомника, зображену на рис.2.2, еквівалентною системою, що містить тільки обертові елементи.

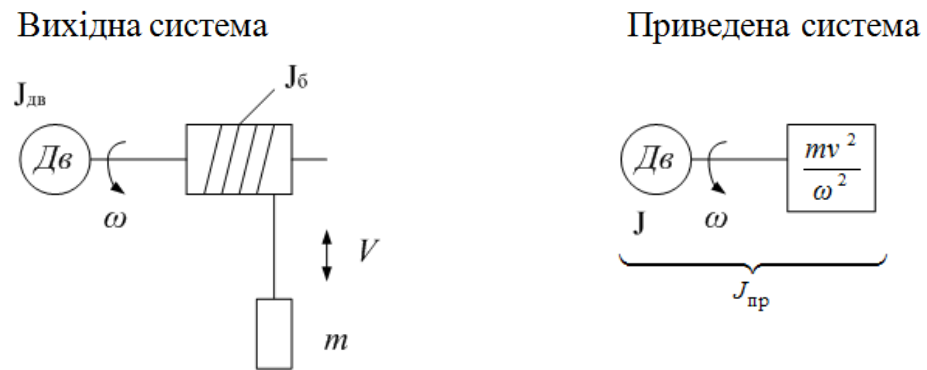


Рис.2.2.

Оскільки двигун і барабан обертається з однаковою швидкістю, їх моменти інерції можна скласти, позначивши $J_{дв} + J_{б} = J$.

Баланс запасів кінетичної енергії

$$J_{np} \cdot \frac{\omega^2}{2} = J \cdot \frac{\omega^2}{2} + \frac{mv^2}{2}.$$

Звідси

$$J_{np} = J = \frac{mv^2}{\omega^2} = J + J'$$

В цьому випадку приведена до обертального руху маса еквівалентна моменту інерції J' .

У загальному випадку приведення до обертального руху поступально рухається зі швидкістю V_j маси m_j до розрахункової швидкості проводиться з умов рівності запасів енергії:

$$J_{np} \cdot \frac{\omega^2}{2} = \frac{m_j \cdot v_j^2}{2};$$

Звідки

$$J_{np} = m_j \cdot \left(\frac{v_j}{\omega} \right)^2 = m_j \cdot \rho_j^2,$$

де ρ_j - радіус приведення.

Приведення статичних моментів опору M_c і статичних зусиль F_c елементів кінематичного ланцюга здійснюється на основі рівності елементарної роботи на можливих переміщеннях.

$$M_{np,i} \cdot \Delta\varphi_{np,i} = M_{c,i} \cdot \Delta\varphi_i \quad \text{і} \quad M_{np,j} \cdot \Delta\varphi_{np,j} = F_{c,j} \cdot \Delta S_j;$$

Звідси

$$M_{np,i} = M_{c,i} \cdot \frac{\Delta\varphi_i}{\Delta\varphi_{np,i}} = M_{c,i} \cdot \frac{1}{J_i}; \quad M_{np,j} = F_{c,j} \cdot \frac{\Delta S_j}{\Delta\varphi_{np,j}} = F_{c,i} \cdot \rho_j.$$

Приведення жорсткостей C пружних елементів здійснюється за умови збереження незмінної величини потенційної енергії деформації реальної і еквівалентної систем. Для цього потрібно знати реальну жорсткість пружного елемента і кінетичні параметри системи. Якщо, наприклад, ділянка кінематичного ланцюга з жорсткістю C_i (див. рис.2.3) при прокручуванні відчуває деформацію $\Delta\varphi_i$, то потенційна енергія деформації елемента при цьому дорівнює

$$W = \frac{C_i \cdot \Delta\varphi_i^2}{2}.$$

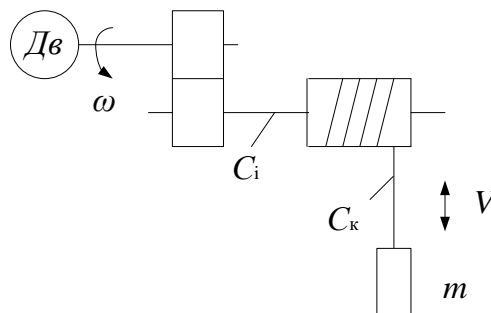


Рис.2.3.

Тримасова система

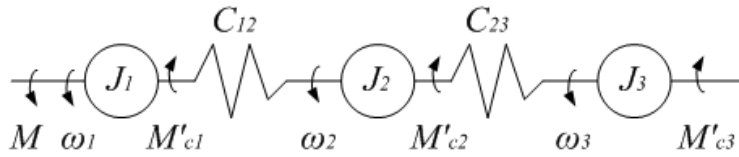


Рис.2.4.

Двомасова система

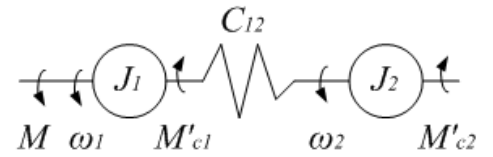


Рис.2.5.

Одномасова система

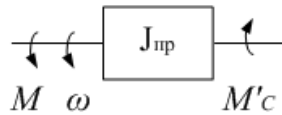


Рис.2.6.

У тримасовій розрахунковій схемі J_1 – це сумарний момент інерції ротора або якоря двигуна і інших елементів, приведених до валу двигуна, жорстко пов'язаних з двигуном. До інерційної маси J_1 прикладений електромагнітний момент M двигуна і момент статичного навантаження M'_{c1} , який зазвичай є сумарним моментом втрат на валу двигуна і жорстко з ним пов'язаних елементах. Інерційна маса J_2 є проміжною. До неї прикладений момент опору M'_{c2} . Інерційна маса J_3 являє собою сумарний момент інерції робочого органу механізму та інших інерційних елементів, жорстко пов'язаних і приведених до валу двигуна. До неї прикладений момент зовнішнього навантаження M_{c3} цієї маси. C_{12} і C_{23} – це приведені жорсткості пружних зв'язків між J_1 та J_2 , J_2 і J_3 .

У двомасовій розрахунковій схемі J_1 і J_2 – це теж, що J_1 і J_3 тримасової схеми. Пружний зв'язок між J_1 та J_2 характеризується жорсткістю C_{12} .

Зазвичай тримасова схема використовується для детального аналізу умов руху механізму. Для дослідження окремих фізичних особливостей тримасова розрахункова схема зводиться до двомасової. Електромеханічна система з двомасовою пружною механічною частиною являє собою найпростішу модель електроприводу, найбільш зручну для вивчення пружних зв'язків.

У тих випадках, коли вплив пружних зв'язків незначний або ними можна знехтувати, механічна частина електропривода видається простою розрахунковою схемою (див. рис.2.6) – жорсткою приведеною механічною ланкою, тобто багатомасова механічна частина електропривода з моментами інерції J_1 , J_2 і т. д. замінюється дією одного моменту інерції J_{np} , приведеного до розрахункової швидкості. Сумарний наведений момент інерції електропривода в цьому випадку визначається як:

$$J_{np} = J_{\Sigma} = J + \sum_{i=2}^n J_i \cdot \frac{1}{j_i^2} + \sum_{j=1}^k m_j \cdot \rho_j^2,$$

де J – момент інерції ротора або якоря двигуна, а n, k – число інерційних елементів електроприводу, що здійснюють відповідно обертальний і поступальний рух.

Сумарний приведений до валу двигуна момент опору в загальному вигляді можна представити як:

$$M_c = M_{c\text{пр}} = \sum_i^q M_i \cdot \frac{1}{j_i} + \sum_{j=1}^p F_j \cdot \rho_j,$$

де p, q – число зовнішніх моментів M_i і сил F_j , прикладених до системи крім електромагнітного моменту двигуна.

2.2. Операція приведення величин.

Приведення моментів опору від однієї осі обертання до іншої може бути вироблено на підставі енергетичного балансу системи. При цьому втрати потужності в проміжних передачах враховуються введенням в розрахунки відповідного ККД – η_n . На підставі рівності потужностей отримаємо

$$M_{cm} \cdot \omega_m \cdot \frac{1}{\eta_n} = M_c \cdot \omega_\delta.$$

Звідси

$$M_c = M_{cm} \cdot \frac{\omega_m}{\omega_\delta} \cdot \frac{1}{\eta_n} = M_{cm} \cdot \frac{1}{i \eta_n}.$$

де M_{cm} – момент опору виробничого механізму (Нм), M_c – той же момент опору, приведений до швидкості валу двигуна, ω_δ – кутова швидкість валу, ω_m – кутова швидкість валу виробничого механізму, $i = \omega_\delta / \omega_m$ – передавальне число. При наявності декількох передач між двигуном і механізмом з передавальними числами i_1, i_2, \dots, i_n і відповідними ККД $\eta_{n1}, \eta_{n2}, \dots, \eta_{nn}$ момент опору, приведений до швидкості валу двигуна, визначається формулою

$$M_c = M_{cm} \cdot \frac{1}{i_1 i_2 \dots i_n} \cdot \frac{1}{\eta_{n1} \eta_{n2} \dots \eta_{nn}}.$$

Приведення сил опору проводиться аналогічно приведення моментів. Якщо швидкість поступального руху V , м/с, а кутова швидкість валу двигуна ω_δ , рад/с, то

$$F_{cm} \cdot V \cdot \frac{1}{\eta_n} = M_c \cdot \omega_\delta,$$

де F_{cm} – сила опору виробничого механізму, Н.

Звідси приведений до валу двигуна момент опору дорівнює

$$M_c = F_{cm} \cdot V / \omega_\delta \eta_n.$$

Приведення моментів інерції до однієї осі обертання засноване на тому, що сумарний запас кінетичної енергії рухомих частин приводу, віднесений до однієї осі, залишається незмінним. При наявності обертових частин, що володіють моментами інерції $J_0, J_1, J_2 \dots J_n$ і кутовими швидкостями $\omega_0, \omega_1, \omega_2 \dots \omega_n$, можна замінити їх динамічну дію дією одного моменту інерції, приведенного, наприклад, до валу двигуна. В такому випадку можна записати:

$$J \cdot \frac{\omega_0^2}{2} = J_0 \cdot \frac{\omega_0^2}{2} + J_1 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \cdot \frac{\omega_n^2}{2}.$$

Звідси результуючий чи сумарний момент інерції, приведенний до валу двигуна

$$J = J_0 + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_0} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_0} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_0} \right)^2.$$

де J_0 – момент інерції ротора двигуна та інших елементів (муфти, шестерні и т. п.), установлених на валу двигателя.

Приведення мас, що рухаються поступально здійснюється також на основі рівності запасу кінетичної енергії

$$\frac{mv^2}{2} = J \frac{\omega^2}{2}.$$

Звідси момент інерції, приведенний до валу двигуна дорівнює

$$J = m(v/\omega_0)^2.$$