

Лекція №17. Перехідні режими електроприводів.

17.1. Загальна характеристика перехідних режимів електроприводів, їх класифікація і поняття про оптимальних перехідних процесах.

Перехідним процесом або перехідним режимом електроприводу називається режим його роботи при переході від одного усталеного стану до іншого, коли змінюється швидкість, струм, момент, прискорення. Причинами виникнення перехідних режимів є або зміна навантаження, вплив на електропривод при управлінні ним, тобто пуск, гальмування, реверс і т. д. Вони можуть виникнути в результаті аварії або інших випадкових причин, наприклад, при зміні величини напруги або частоти мережі, несиметрії напруги по фазах, зміну порядку проходження фаз, повному зникненні напруги, обриві проводів і т. д. У деяких механізмів, таких як кривошипно-шатунні преси, ножиці, підйомні столи деяких прокатних станів, усталених режимів взагалі немає, а їх робочі режими являють собою періодичні перехідні процеси.

Перехідні режими відіграють величезну роль у роботі електропривода і механізму, і часто їх характер зумовлює продуктивність механізму і якість продукції. Тому їх вивчення має велике практичне значення. Аналіз цих режимів дає можливість правильно розрахувати потужність електродвигуна і вибрати його, зменшити втрати енергії при пуску і гальмуванні, дозволяє виявити гранично допустиму з точки зору нагріву кількість включень в годину двигуна електроприводу, що працює більшу частину часу в перехідних режимах.

Лише обмежене число механізмів допускає можливість їх проектування електроприводу без урахування характеру протікання перехідних процесів. До них відносяться деякі рідко пускаючі і довготривалопрацюючі механізми з найпростішими пусковими пристроями, наприклад, вентилятори, насоси, а також механізми, у яких виробничий процес не складний, що до їх електроприводу взагалі не пред'являється будь-які особливі вимоги, крім забезпечення заданої потужності (бетонозмішувачі, каменедробарки тощо).

На протікання перехідних процесів значний вплив робить механічна, електромагнітна і теплова інерція. Механічна інерція, що характеризується електромеханічної сталої T_m , залежить як від інерційних мас і характеру навантаження M_c , так і від електромеханічних властивостей двигуна. Електромагнітна інерція характеризується електромагнітною постійною T_e , що залежить від L і R електричного кола. Теплова інерція характеризується постійною часу нагріву T_n , залежить від теплоємності машини і її тепловіддачі. Оскільки теплові процеси протікають значно повільніше електромагнітних та механічних, їх при аналізі перехідних процесів електропривода не беруть до уваги.

Якщо механічна інерція практично завжди відчутна і позначається на перехідних процесах, то електромагнітна інерція може бути і суттєвою і практично не впливати на характер протікання процесу. У зв'язку з цим, коли

не потрібно дуже великої точності, враховується тільки механічна інерція. Перехідні процеси в цьому випадку називаються механічними.

Якщо враховується тільки електромагнітна інерція (наприклад, в колах збудження), перехідні процеси називаються електромагнітними, а якщо враховується механічна і електромагнітна інерція – електромеханічними.

Перехід з одного сталого стану в інший може відбуватися по різних траєкторіях. При керуванні електроприводом прагнуть вибирати такі, які забезпечують максимальну швидкість, мінімум втрат енергії і динамічних навантажень, максимум корисної роботи і оптимальні значення інших показників.

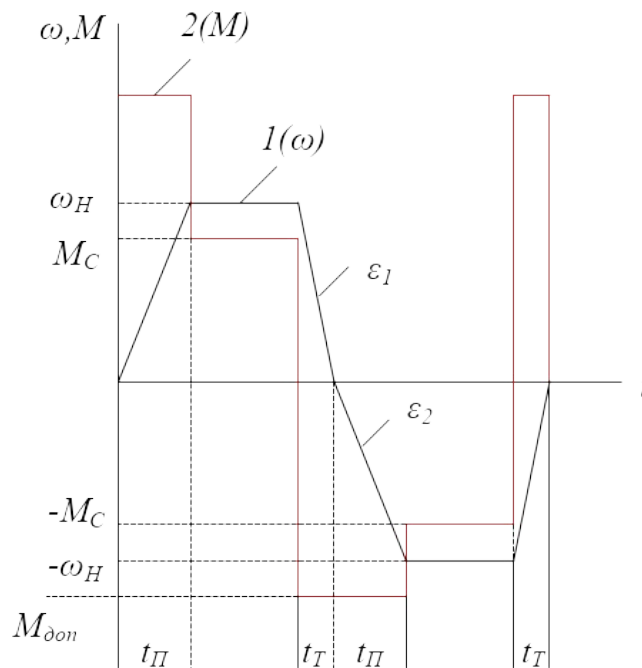


Рис.17.1.

Найбільш часто потрібно забезпечити зміну швидкості електроприводу за мінімальний час при обмеженні моменту двигуна. Такі перехідні процеси називаються оптимальними за швидкодією при обмеженні моменту. Цій умові при $M_c = \text{const}$ відповідає рівномірно прискорений характер зміни швидкості при $M = M_{\text{дон}} = \text{const}$ (див. криві 1 і 2 на рис.17.1).

Якщо $M_c = f(\omega)$, то швидкість при реверсі в процесі гальмування і пуску повинна змінюватися з різними прискореннями в разі реактивного M_c , як показано на рис.17.1.

Для деяких механізмів, наприклад, пасажирських ліфтів, перехідні процеси повинні протікати при строго обмеженому прискоренні. Умовою мінімальної тривалості перехідного процесу є підтримання сталості прискорення при різних навантаженнях. Такі перехідні процеси називаються оптимальними за швидко-дією при обмеженні прискорення ϵ .

У цьому випадку залежність $\omega = f(t)$ повинна залишатися незмінною

$$M = M_c + J \sum i \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_c + J \sum i \cdot \dot{\omega}$$

при різних M_c , а момент двигуна цих різних M_c буде змінюватися.

при

Однак, в ряді випадків момент двигуна не реагує на зміну навантаження. В цьому випадку для обмеження ε при будь-яких M_c допустимий пусковий момент двигуна необхідно вибрати з умови:

$$M_{\text{доп}} = J \sum_{\text{мин}} \cdot \varepsilon_{\text{доп}} + M_{\text{с.мин}}$$

Якщо $M_{\text{пуск}}$ вибраний відповідно до даного виразу і при різних навантаженнях залишається незмінним, то прискорення електроприводу при зростанні навантаження буде зменшуватися і при $M_c = M_{\text{с.макс}}$ прийме значення

$$\varepsilon_{\text{мин}} = \frac{M_{\text{доп}} - M_{\text{с.макс}}}{J \sum_{\text{макс}}}$$

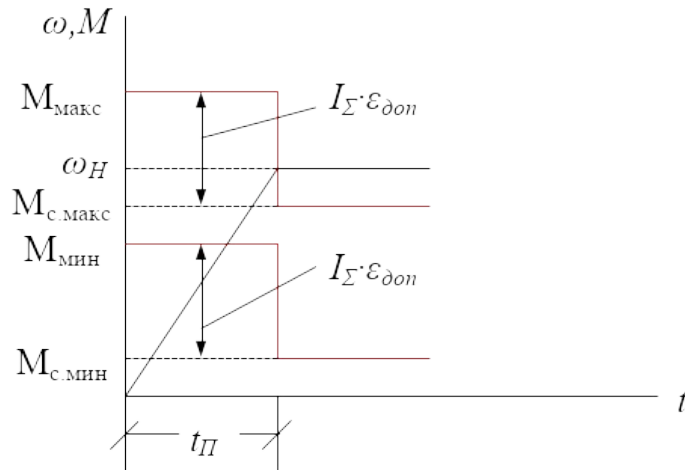


Рис.17.2.

Очевидно $\varepsilon_{\text{мин}} < \varepsilon_{\text{доп}}$ і час пуску в міру зростання навантаження збільшиться.

Для багатьох механізмів поряд з необхідністю обмеження M і ε потрібно забезпечити плавність перебігу перехідних процесів шляхом

$$\frac{dM}{dt} \quad \text{або так званого ривка} \quad \rho = \frac{d\varepsilon}{dt}$$

обмеження похідної або так званого ривка. Такі перехідні процеси називаються оптимальними при обмеженні моменту або прискорення і ривка.

Необхідність таких обмежень викликається різними причинами. Так, для двигунів постійного струму за умовами комутації необхідно обмежувати

$$\frac{di_{\text{я}}}{dt}, \quad \text{отже, і} \quad \frac{dM}{dt}$$

. Для пасажирських ліфтів обмеження ривка створює

більш комфортні умови для людей, які перебувають в ліфті. Слід, тільки, мати на увазі, що обмеження похідної $\frac{dM}{dt}$ під час пуску електроприводу тягне за собою зниження швидкодії. Наприклад, при зменшенні $\frac{dM}{dt}$ зростає час пуску електроприводу.

17.2. Рівняння електромеханічного перехідного процесу електроприводу з лінійною механічною характеристикою при $M_c = \text{const}$ і $\omega_0 = \text{const}$.

У більшості застосовуваних у промисловості електроприводів, які отримують живлення від мережі, електромеханічні перехідні процеси протікають при незмінній напрузі U або частоті f_1 , тобто при $\omega_0 = \text{const}$. При цих умовах вони виникають у разі зміни керуючого впливу ω_0 або f_1 стрибком (пуск, гальмування, реверс) чи зміні навантаження. Для обмеження кидків струму і моменту при пуску, гальмуванні до допустимих значень в коло якоря або ротора двигуна вводиться додатковий опір.

$$T_3 = \frac{L \sum i}{R \sum i}$$

При цьому електромагнітна постійна силового кола значно знижується, а електромеханічна постійна, навпаки, збільшується (зменшується жорсткість β). Тому при роботі двигуна на пускових характеристиках впливом електромагнітної інерції на перебіг перехідних процесів можна знехтувати, вважаючи $T_3 \approx 0$. Необхідність обліку T_3 зазвичай виникає при виході двигуна на природну характеристику, коли додаткові опору повністю виведені і вплив електромагнітної інерції може бути істотним.

Отримаємо рівняння перехідного процесу для загального випадку при $T_3 \neq 0$ і ненульових початкових умовах. Електромеханічні перехідні процеси при жорстких механічних зв'язках, тобто $C_{12} = \infty$, описуються рівняннями:

$$M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega) - T_3 \cdot \frac{dM}{dt} ; \quad M - M_c = J \sum i \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Знайшовши M з другого рівняння і підставивши в перше, одержимо рівняння, розв'язане відносно швидкості ω .

$$T_3 \cdot T_M \cdot \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 - \frac{M_c}{\beta} = \omega_c$$

Аналогічно можна отримати рівняння, розв'язане відносно моменту М.

$$T_{\text{э}} T_M \cdot \frac{d^2 M}{dt^2} + T_M \cdot \frac{dM}{dt} + M = M_c$$

Тут $T_M = \frac{I_{\Sigma i}}{\beta}$

Корені характеристичного рівняння цих диференціальних рівнянь однакові і при $m = \frac{T_M}{T_{\text{э}}} < 4$ однакові:

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2 \cdot T_{\text{э}}} \pm \sqrt{\frac{1}{T_{\text{э}} \cdot T_M} - \frac{1}{4 \cdot T_{\text{э}}^2}} = -\alpha \pm j \cdot \Omega_p$$

Загальний розв'язок цих рівнянь при $m < 4$ має вигляд

$$1) \quad \omega = \omega_c + (A \cdot \cos \Omega_p \cdot t + B \cdot \sin \Omega_p \cdot t) \cdot e^{-\alpha t}$$

$$2) \quad M = M_c + (C \cdot \cos \Omega_p \cdot t + D \cdot \sin \Omega_p \cdot t) \cdot e^{-\alpha t}$$

Постійні інтегрування А, В, С, D знаходяться з початкових умов.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{нач}} - M_c}{J_{\Sigma i}}$$

При $t=0$ $\omega = \omega_{\text{поч}}$; $M = M_{\text{поч}}$:

Підставимо ці величини в рівняння 1 і 2

$$\Omega_{\text{поч}} = \omega_c + A; \quad M_{\text{поч}} = M_c + C. \quad \text{Звідси} \quad A = \omega_{\text{нач}} - \omega_c; \quad C = M_{\text{поч}} - M_c.$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 - \alpha \cdot A + \Omega_p \cdot B = \frac{M_{\text{мин}} - M_c}{J_{\Sigma i}}$$

$$B = (M_{\text{нач}} - M_c) + \frac{\alpha \cdot I_{\Sigma i} \cdot (\omega_{\text{нач}} - \omega_c)}{J_{\Sigma i} \cdot \Omega_p}$$

$$\frac{dM}{dt} = 0 - \alpha \cdot C + \Omega_p \cdot D = \frac{\beta \cdot (\omega_0 - \omega) - M_{\text{макс}}}{T_{\text{э}}} = \frac{\beta \cdot \Delta\omega_{\text{нач}} - M_{\text{нач}}}{T_{\text{э}}}$$

Звідси

$$D = \frac{(\beta \cdot \Delta\omega_{\text{нач}} - M_{\text{нач}}) + \alpha \cdot T_{\text{э}} \cdot (M_{\text{нач}} - M_c)}{\Omega_p \cdot T_{\text{э}}}$$

Таким чином закони зміни ω і M будуть такими:

$$\omega = \omega_c + [(\omega_{нач} - \omega_c) \cdot \cos \Omega_p \cdot t + (M_{нач} - M_c) + \frac{J \sum \dot{\omega} \cdot \alpha \cdot (\omega_{нач} - \omega_c)}{J \sum \dot{\omega} \cdot \Omega_p} \cdot \sin \Omega_p \cdot t] \cdot e^{-\alpha t} \quad \dot{\omega}$$

$$M = M_c + [(M_{нач} - M_c) \cdot \cos \Omega_p \cdot t + \frac{(\beta \cdot \Delta \omega_{нач} - M_{нач}) + \alpha \cdot T_{\varepsilon} (\omega_{нач} - \omega_c)}{T_{\varepsilon} \cdot \Omega_p} \cdot \sin \Omega_p \cdot t] \cdot e^{-\alpha t}$$

$$m = \frac{T_M}{T_{\varepsilon}} > 4$$

При корені характеристичного рівняння $p_1 = -\alpha_1$, $p_2 = -\alpha_2$ і загальний розв'язок рівнянь 1 і 2 буде таким:

$$\omega = \omega_c + A_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + B_1 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}$$

$$M = M_c + C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + D_1 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}$$

Коефіцієнти A_1, B_1, C_1, D_1 знаходяться аналогічно A, B, C, D .

Закони зміни ω і M будуть мати такий вигляд:

$$3) \quad \omega = \omega_c \cdot (1 - e^{-\alpha_1 \cdot t}) + \omega_{нач} \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + (M_c - M_{нач}) - \alpha_1 \frac{J \sum \dot{\omega} \cdot (\omega_{нач} - \omega_c)}{J \sum \dot{\omega} \cdot \alpha_2} \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}$$

4)

$$M = M_c \cdot (1 - e^{-\alpha_1 \cdot t}) + M_{нач} \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + \frac{(M_{нач} - \beta \cdot \Delta \omega_{нач}) - \alpha_1 T_{\varepsilon} (M_{нач} - M_c)}{T_{\varepsilon} \cdot \alpha_2} \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}$$

$$m = \frac{T_M}{T_{\varepsilon}} = 4$$

При , що буває рідко, $p_1 = p_2 = \alpha$ і загальний розв'язок диференціальних рівнянь 1 і 2 має вигляд:

$$\omega = \omega_c + (A_2 + B_2 \cdot t) \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

$$M = M_c + (C_2 + D_2 \cdot t) \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Коефіцієнти A_2, B_2, C_2, D_2 знаходяться з початкових умов.

Отримані загальні залежності $\omega = f(t)$ і $M = f(t)$ в окремих випадках істотно спрощуються, якщо до початку перехідного процесу режим роботи електро-приводу був сталим. У всіх випадках, коли двигун працює на реостатних характеристиках, величина T_{ε} дуже мала і її можна вважати нульовою. Якщо електромеханічний зв'язок в системі електроприводу є жорстким, рівняння перехідного процесу можна одержати з співвідношень 3 і

4, прийнявши $\alpha_1 = -\frac{1}{T_M}$; $\alpha_2 = \infty$. Вони мають вигляд

$$\omega = \omega_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}\right) + \omega_{\text{нач}} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} .$$

$$M = M_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}\right) + M_{\text{нач}} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} .$$