Лекція №20. Переходні процеси електропривода з лінійною механічною характеристикою.

20.1. Переходні процеси при ω_0=const, $M_c=f(\omega)$.

У випадку лінійності M_c від ω, тобто при $M_c=k\omega$ диференціальне рівняння, що визначає поведінку електроприводу, має:

$$\omega_0 = \omega \cdot \left(1 + \frac{\Delta\omega_y}{\omega_y}\right) + T_M \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

де ω_y – швидкість усталеного режиму при $M_c=M_y$, а $\Delta\omega_y$ – спад швидкості при усталеному режимі (рис.20.1).

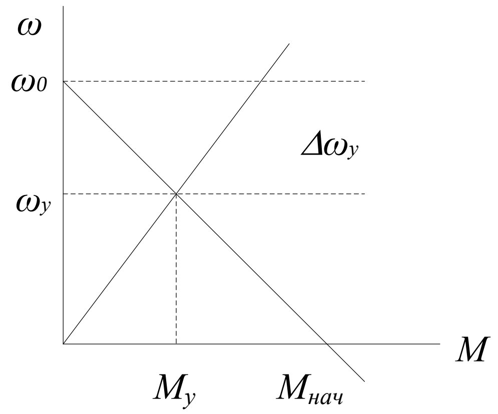

Рис.20.1.

Враховуючи, що $\omega_y+\Delta\omega_y=\omega_0$ і перемножуючи обидві частини рівняння на $\dfrac{\omega_y}{\omega_0}$, отримаємо

$$\omega_0 \cdot \frac{\omega_y}{\omega_0} = \omega \cdot \frac{\omega_y}{\omega_0} \cdot \left(1 + \frac{\Delta\omega_y}{\omega_y}\right) + T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \frac{\omega_y}{\omega_0} \text{ або}$$

$$\omega_y = \omega + T_M \cdot \frac{\omega_y}{\omega_0} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \omega + T'_M \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

де $T'_M = T_M \cdot \dfrac{\omega_y}{\omega_0}$.

Розв'язок цього рівняння відносно ω і M дає закони зміни ω і M

$$\omega = \omega_y \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T'_M}}) + \omega_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T'_M}}; \qquad M = M_y \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T'_M}}) + M_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T'_M}}$$

Тривалість перехідного процесу $t = T'_м \cdot \ln \dfrac{\omega_{нач} - \omega_y}{\omega_{кон} - \omega_y}$.

Тут $T'_м = T_м \cdot \dfrac{\omega_y}{\omega_0}$ – це час, протягом якого електропривод розженеться до ω_y при постійному моменті, рівному пусковому $M_п$.

При $M_c = M_0 + K_1\omega$ і $M_c = M_0 - K_1\omega$ (рис.20.2) перехідний процес описується цими ж рівняннями, що і при $M_c = K\omega$, але в них $T'_M = T_M \cdot \dfrac{\omega_y}{\omega'}$.

При вентиляторному моменті опору диференціальне рівняння, що відображає перехідний процес, має вигляд:

$$\omega_0 = \omega \cdot (1 + \omega \cdot \frac{\Delta\omega_y}{\omega_y}) + T_M \cdot \frac{d\omega}{dt}.$$

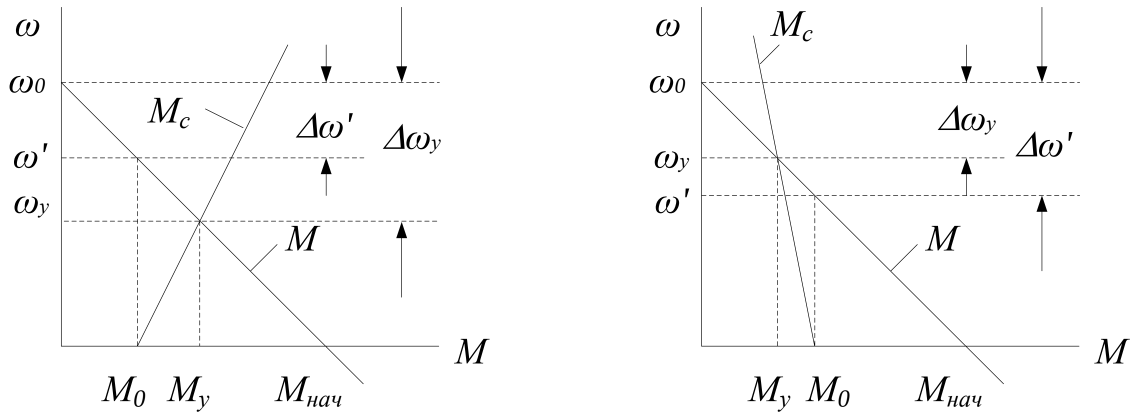

Рис.20.2.

Хоча це рівняння розв’язати можна, проте кінцеві результати малопридатні для практичного використання. Тому на практиці частіше використовуються графічні і графоаналітичні методи. Природно, що такі методи дають лише набли-жені результати, однак, при ретельному виконанні їх точність достатня для вирішення практичних завдань. Правда, такі методи мають і такий недолік: вони не дають можливості отримати загальні висновки. Рішення може бути знайдено лише для випадків, коли значення всіх параметрів електроприводу відомі.

20.2. Перехідні процеси при ω_0=f(t) і M_c=const

При пуску електроприводу включенням його в мережу на повну напругу U = const і f_1 = const перехідні процеси виникають при стрибку напруги, або як прийнято говорити, при стрибку керуючого впливу ω_0 = const. Для обмеження кидків струму і моменту в розімкнутих системах в якірне або роторне коло двигуна доводиться вводити додатковий опір.

У замкнутих системах (Г-Д, ТП-Д, ТПЧ-АД та ін.) є можливість формувати перехідні процеси, близькі до оптимальних, шляхом плавної зміни керуючого впливу. Вони протікають в цьому випадку при ω_0 = f(t). При цьому є можливість обмежувати темп наростання керуючого впливу допустимим значенням $\omega_0 = \varepsilon_0 t$, де ε_0 – допустиме з тих чи інших причин прискорення електроприводу.

Проаналізуємо особливості перехідних процесів при лінійній зміні керу-ючого впливу в часі, тобто при лінійній зміні U_d або f_1, при якому $\omega_0 = \omega_{0поч} + \varepsilon_0 t$.

Якщо підставити значення $\omega_0(t)$ в раніше отримане диференціальне рівняння, що визначає перехідний процес при ω_0 = const, одержимо

У разі $\frac{T_M}{T_э} > 2$ впливом електромагнітної інерції можна знехтувати, вважаючи $T_э \cong 0$. Тоді

$$T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 - \Delta\omega_c = \omega_{0нач} + \varepsilon_0 \cdot t - \Delta\omega_c .$$

Права частина цього рівняння – частковий розв’язок, що відповідає сталому режиму, який настане після загасання вільних складових. Для цього режиму загальний характер руху такий:

$$T_э \cdot T_M \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 - \Delta\omega_c = \omega_{0кон} + \varepsilon_0 t - \Delta\omega_c .$$

Тут ω = a + bt, де a і b – невизначені коефіцієнти, що знаходяться з початкових умов.

Маючи на увазі, що $\frac{d\omega}{dt} = a + b = \varepsilon_0$, можна написати

$$T_M \cdot \varepsilon_0 + a + bt = \omega_{0нач} + \varepsilon_0 \cdot t - \Delta\omega_c .$$

При t = 0

Загальне розв’язок диференціального рівняння щодо ω

$$a = \omega_{0нач} - T_M \cdot \varepsilon_0 - \Delta\omega_c .$$

Загальне розв’язок диференціального рівняння щодо ω

$$\omega = a + b \cdot t + A \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} = \omega_{0нач} - T_M \cdot \varepsilon_0 - \Delta\omega_c + \varepsilon_0 \cdot t + A \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} .$$

При t=0 $\omega_{нач} = \omega_{0нач} - T_M \cdot \varepsilon_0 - \Delta\omega_c + A$, звідки

$$A = \omega_{нач} - (\omega_{0нач} - T_M \cdot \varepsilon_0 - \Delta\omega_c) \ .$$

Остаточно закон зміни швидкості

$$\omega = \varepsilon_0 \cdot t + (\omega_{0нач} - T_M \cdot \varepsilon_0 - \Delta\omega_c)(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + \omega_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} \ .$$

Диференціальне рівняння системи щодо моменту при має вигляд з урахуванням динамічного моменту

$$T_M \cdot \frac{dM}{dt} + M = M_c + J_\Sigma \frac{d\omega}{dt} = M_c + T_M \cdot \varepsilon_0 \cdot \beta \ .$$

а його розв'язок щодо моменту:

$$M = (M_c + T_M \cdot \beta \cdot \varepsilon_0)(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + M_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} \ .$$

Скористаємося отриманими загальними виразами для ω = f(t) і M = f(t) для аналізу перехідних процесів електроприводу з лінійною механічною характеристикою при реактивному моменті M_c, обмежившись лише режимом пуску. Зобразимо механічні характеристики, на яких електропривод працює в процесі пуску, а поруч будуть зображуватися криві перехідного процесу.

Процес пуску розбивається на 3 етапи. На першому етапі двигун нерухомий (ω = 0), а зростання ω_0 викликає лінійне зростання його моменту.

$$M = \beta(\omega_0 - \omega) - T_э \frac{dM}{dt} = \beta(\omega_0 - \omega) = \beta(\omega_{0нач} + \varepsilon_0 \cdot t) = \beta \cdot \varepsilon_0 \cdot t \ .$$

Так як $\omega_{0поч} = 0$, ω = 0

Перший етап закінчується, коли M = M_c. Час запізнювання (див. рис.20.3).

$$t = t_з = \frac{M}{\beta \cdot \varepsilon_0} = \frac{\Delta\omega_c}{\varepsilon_0} \ .$$

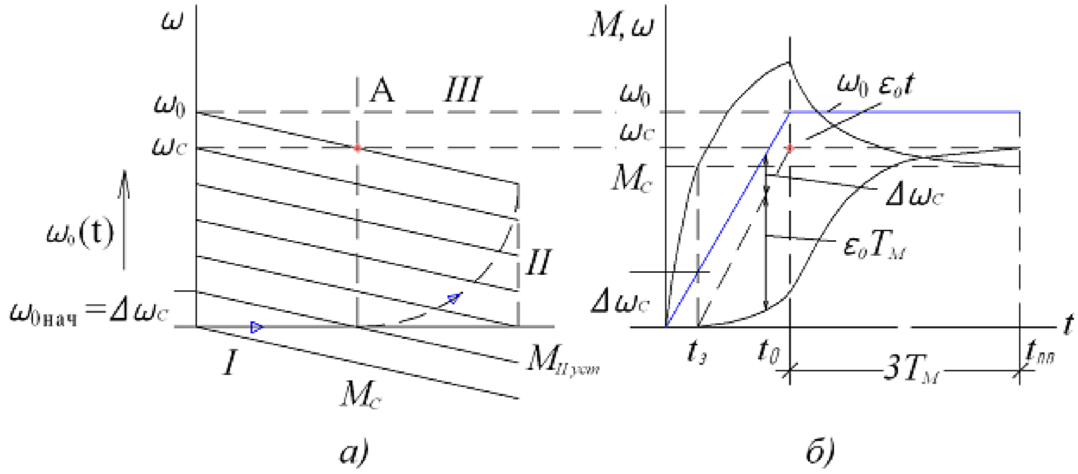

Рис.20.3.

Після досягнення моментом двигуна значення, рівного M_c, двигун приходить в обертання і починається другий етап (II), який закінчиться, коли ω_0 перестане змінюватися, тобто стане рівною ω_0 = const. Початкові умови для другого етапу: $\omega_{поч} = 0$; $\omega_{0поч} = \Delta\omega_c$; $M_{поч} = M_c$.

Переносячи початок координат в точку $t_з$ і відраховуємо час звідси. Отже, закони зміни ω і M будуть такими при t = 0

$$\omega = \varepsilon_0 \cdot t + (\Delta\omega_c - \Delta\omega_c - T_M \cdot \varepsilon_0)(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + 0 = \varepsilon_0 \cdot t - T_M \cdot \varepsilon_0 (1 - e^{-\frac{t}{T_M}}).$$

$$M = (M_c + T_M \cdot \beta \cdot \varepsilon_0)(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + M_c \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} = M_c + T_M \cdot \beta \cdot \varepsilon_0 (1 - e^{-\frac{t}{T_M}}).$$

Криві, що відображають процес на цьому етапі зображені на рис. 20.3,б.

В кінці другого етапу ($t = t_0$) двигун виходить на характеристику, що відповідає ω_0 = const. До цього він послідовно переходить з однієї характеристики на іншу, кожній з яких відповідає своя ω_0 (рис.20.3,а).

Залежності ω = f (t) і M = f (t) дозволяють побудувати фазову траєкторію, тобто динамічну характеристику.

На третьому етапі (III) двигун працює при постійній напрузі (незмінній частоті f_1) при ω_0 = const. Відбувається дотягування двигуна до швидкості ω_c, що відповідає сталому режиму в точці A. На цьому етапі закони зміни ω і M описуються рівняннями, що відповідають ω_0 = const, тобто сталості керуючого впливу (постійної гапруги U мережі або постійної частоти f_1).

$$\omega = \omega_c (1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + \omega_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}. \qquad M = M_c (1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) + M_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}.$$

Початок координат при цьому треба перенести в точку t_0, тобто час на цьому етапі відраховується від t_0. Загальний час перехідного процесу $t_{пп} = t_з + t_0 + 3T_M$.