

Лекція №5. Природні і штучні електромеханічні і механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження.

5.1. Загальні положення.

Принципова схема двигуна незалежного збудження (ДНЗ) зображується так, як показано на рис.5.1. Обмотка збудження (ОЗ) живиться від незалежного джерела постійного струму. При підключенні ОЗ до обмотки якоря машина перетворюється в двигун паралельного збудження. Для регульованих електроприводів зазвичай використовується ДНЗ.

Процеси електромеханічного перетворення енергії ДНЗ описуються наступними рівняннями.

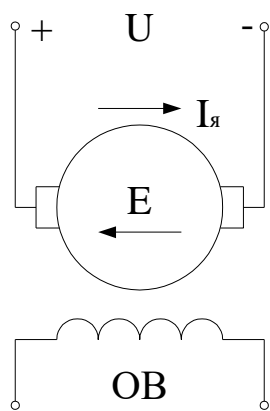


Рис.5.1.

$$U_{\epsilon} = i_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon} + L_{\epsilon} \cdot \frac{di_{\epsilon}}{dt} = i_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon} (1 + T_{\epsilon} \cdot p).$$

$$U_{я} = i_{я} \cdot R_{я\Sigma} + L_{я\Sigma} \cdot \frac{di_{я}}{dt} + k\phi \omega = i_{я} \cdot R_{я\Sigma} (1 + T_{я} \cdot p) + k\phi \omega.$$

$$M = k\phi \cdot i_{я}.$$

Тут $R_{я\Sigma} = R_{я} + R_{\partial.n} + R_{ко}.$

$$L_{я\Sigma} = L_{я} + L_{\partial.n} + L_{ко}.$$

$$T_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{R_{\epsilon}} - \text{електромагнітна постійна обмотка збудження } T_{\epsilon} = (0,5 \div 5) \text{ с.}$$

$$T_{я} = \frac{L_{я\Sigma}}{R_{я\Sigma}} - \text{електромагнітна постійна обмотка якоря } T_{я} = (0.01 \div 0.1) \text{ с.}$$

K - конструктивний коефіцієнт, що дорівнює $\frac{N \cdot p_{п}}{2\pi a}$, де

N - число активних провідників обмотки якоря;

p - число пар полюсів машини;

a - число пар паралельних гілок обмотки якоря;

$k\phi \omega$ - ЕРС обертання якоря;

$$k\phi = \frac{U - I_{я} \cdot R_{я\Sigma}}{\omega_{н}} - \text{коефіцієнт ЕРС машини;}$$

$R_{я}$ - опір обмотки якоря;

$R_{\partialп}$ - опір обмотки додаткових полюсів;

$R_{\text{ко}}$ - опір компенсаційної обмотки (для машини потужністю 100 і вище кВт).

Зазвичай ДНЗ працює при $\Phi = \Phi_{\text{н}} = \text{const}$. При цьому вище написані рівняння лінеарізуються і після перетворень (рішення щодо швидкості ω) отримаємо рівняння електромеханічної характеристики.

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k \cdot \phi} - \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{k \cdot \phi} \cdot i_{\text{я}} - \frac{L_{\text{я}\Sigma}}{k \cdot \phi} \cdot \frac{di_{\text{я}}}{dt}.$$

5.2. Характеристики двигунів.

Виразивши струм якоря через момент $i_{\text{я}} = \frac{M}{k\phi}$, отримаємо рівняння механічної характеристики

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k \cdot \phi} - \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{(k \cdot \phi)^2} \cdot M - \frac{L_{\text{я}\Sigma}}{(k \cdot \phi)^2} \cdot \frac{dM}{dt}.$$

У сталому режимі $\frac{di_{\text{я}}}{dt} = \frac{dM}{dt} = 0$. Тому рівняння запишуться в наступному вигляді:

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k \cdot \phi} - \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{k \cdot \phi} \cdot I_{\text{я}};$$

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k \cdot \phi} - \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{(k \cdot \phi)^2} \cdot M.$$

Ці рівняння показують, що при $U = U_{\text{я}} = \text{const}$ і $\phi = \text{const}$ характеристики є прямими з початковою ординатою, що відповідає швидкості ідеального холостого ходу двигуна $\omega_0 = \frac{U_{\text{я}}}{k \cdot \phi}$ (рис.5.2).

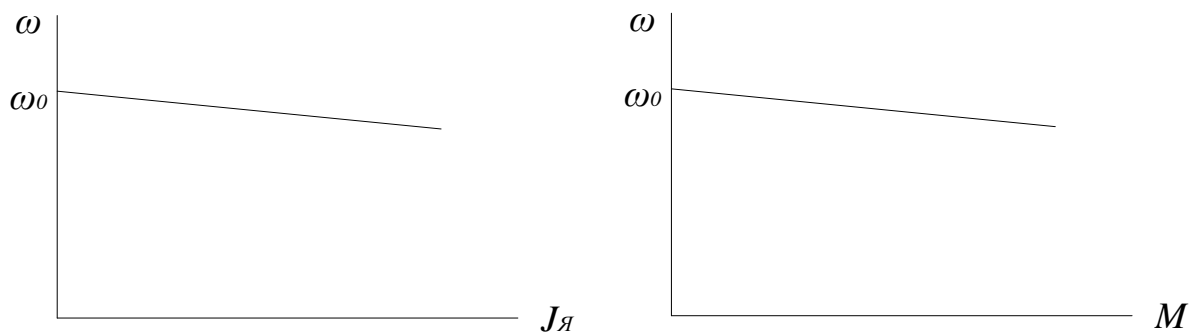


Рис.5.2.

Характеристики, що відповідають відсутності в колі якоря додаткового опору, є природними. Статичну жорсткість характеристики, що визначає її нахил, можна знайти, продиференціювавши вираз моменту M за швидкістю ω , знайшовши попередньо M з рівняння механічної характеристики.

$$M = k \cdot \phi \cdot \frac{U}{R_{я\Sigma}} - \frac{(k \cdot \phi)^2}{R_{я\Sigma}} \cdot \omega; \quad \beta_c = \frac{dM}{d\omega} = - \frac{(k \cdot \phi)^2}{R_{я\Sigma}}.$$

Модуль статичної жорсткості

$$|\beta| = \frac{(k \cdot \phi)^2}{R_{я\Sigma}}.$$

Використовуючи поняття жорсткості, рівняння статичної механічної характеристики ДНВ можна представити у вигляді:

$$\omega = \frac{U}{k\phi} - \frac{M}{\beta} = \omega_0 - \frac{M}{\beta}.$$

Чим більший модуль жорсткості природної механічної характеристики, тим стабільніша є швидкість ω електроприводу при широких межах зміни його навантаження.

Іншою оцінкою стабільності робочої швидкості ω є статизм характеристики, кількісною оцінкою якого служить номінальний перепад швидкості.

$$\Delta\omega_{ном} = \omega_{0ном} - \omega_{мн} = \frac{M}{\beta_c},$$

де $\omega_{0ном}$ - швидкість ідеального холостого ходу на природній характеристиці.

Відносний перепад швидкості для двигунів

$$\Delta\omega_{ном} \% = \frac{\Delta\omega_{ном}}{\omega_{0ном}} \cdot 100\%.$$

великої потужності становить (1,5...3)%.

На вигляд природних механічної і електромеханічної характеристик сильно впливає реакція якоря, що послабляє магнітний потік машини. Через її розмагнічуючу дію в механічній характеристиці двигуна можуть з'явитися ділянки з позитивною жорсткістю (рис.5.3, ділянка а-б), що призводить до нестійкості електроприводу.

Реакція якоря, може знизити магнітний потік двигуна на 10-20%, внаслідок чого зменшиться його перевантажувальна здатність. Вона несприятливо позначається і на динамічних властивостях електроприводу. Тому в двигунах без компенсаційної обмотки потужністю до 100 кВт застосовують так звану стабілізуючу обмотку, що розміщується на сердечниках головних полюсів.

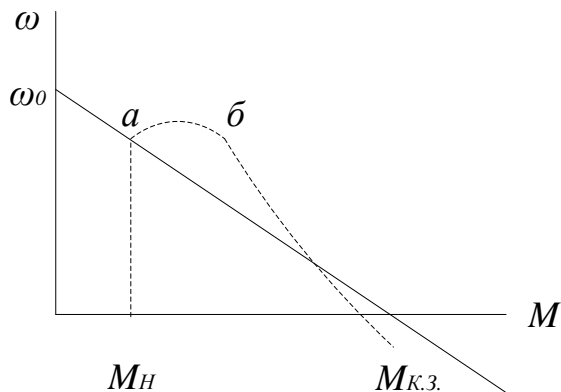


Рис.5.3.

Вона включається в коло якоря послідовно і створює невелику МРС, що компенсує дію реакції якоря. Але двигуни з такою обмоткою можна застосовувати для реверсивних електроприводів, тому що при зміні напрямку обертання струм якоря має протилежний зміст, і стабілізуюча обмотка буде посилювати дію реакції якоря.

Відзначимо, що механічна характеристика ДНЗ є залежність ω від електромагнітного моменту M двигуна. Якщо ж зобразити залежність ω від моменту на валу, то це буде не пряма, а ламана (рис.5.4). У двигунному режимі $M_g = M - \Delta M = M - M_0$, а в гальмівному (генераторному) $M_g = M + \Delta M = M + M_0$ (пунктирна лінія). При $\omega = 0$ виникає розрив безперервності. Це створює незручності при розрахунках. Тому момент $\Delta M = M_0$ додають до навантаження (до M_c) і характеристику двигуна вважають лінійною.

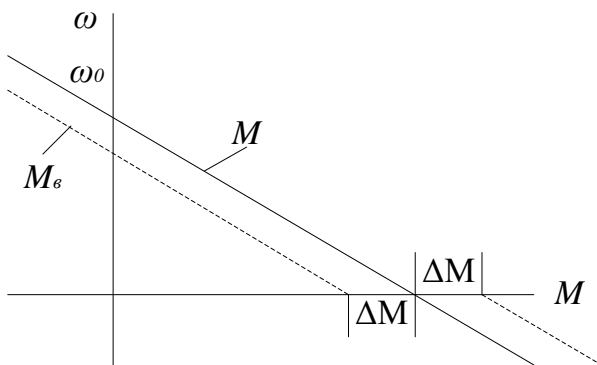


Рис.5.4.

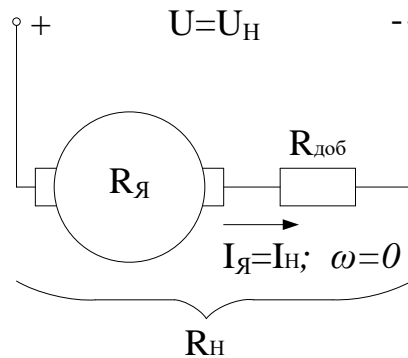


Рис.5.5.

Часто для зручності розрахунків рівняння механічної характеристики представляють у відносних одиницях. Характеристики двигунів, різних за своїми номінальними даними, стають універсальними. У відносних одиницях напруга, ЕРС, струм, момент, потік, швидкість можна представити в наступному вигляді:

$$V = \frac{U}{U_H}; \quad \varepsilon = \frac{E}{E_H}; \quad i = \frac{I_{Я}}{I_H}; \quad \mu = \frac{M}{M_H}; \quad \varphi = \frac{\phi}{\phi_H}; \quad \nu = \frac{\omega}{\omega_0}.$$

Для двигунів послідовного і змішаного збудження $\nu = \frac{\omega}{\omega_H}$, $\rho = \frac{R_{Я}}{R_H}$, де

$R_H = \frac{U_H}{I_H}$ - номінальний опір, тобто опір якірного кола, яке при прикладанні

до якоря номінальної напруги і $\omega = 0$ обмежує струм в якорі до $I_{ЯH}$ (див. рис. 5.5).

Для написання рівняння механічної характеристики відносних одиницях розділимо обидві частини рівняння механічної характеристики на ω_0 .

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0}{\omega_0} - \frac{R_{Я\Sigma}}{(k \cdot \phi)^2 \cdot \omega_0} \cdot M.$$

Звідси

$$\nu = 1 - \frac{R_{Я\Sigma}}{k\phi\omega_0 \cdot k\phi} \cdot M = 1 - \frac{R_{Я\Sigma}}{U \cdot k\phi} \cdot M = 1 - \frac{R_{Я\Sigma}}{I_H R_H \cdot k\phi} \cdot M = 1 - \frac{\rho}{M_H} \cdot M = 1 - \rho \cdot \mu.$$

Тобто $\nu = 1 - \rho \cdot \mu$.

Оскільки у ДНЗ при $\Phi = \text{const}$ $M \equiv I_{Я}$, то $\frac{M}{M_H} = \frac{I_{Я}}{I_H} = \mu = i$ та

$$\nu = 1 - \rho \cdot i.$$

Це рівняння електромеханічної характеристики у відносних одиницях.

Характеристики двигуна, що відповідають змінам параметрів двигуна або спеціальних схемах його включення, є штучними. Так, при введенні в коло якоря додаткового опору нахил характеристик збільшується, їх жорсткість зменшується.

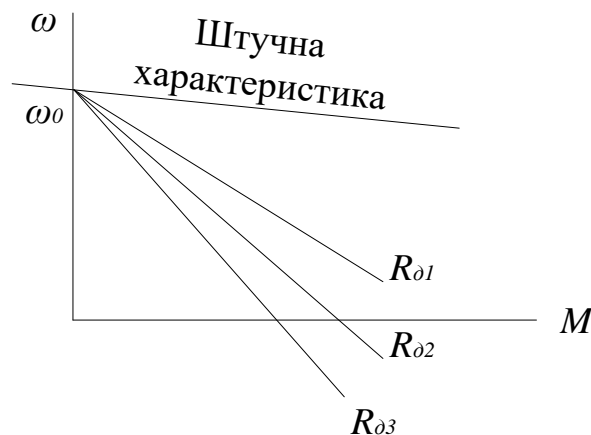


Рис.5.6.

При зміні напруги, що підводиться двигуну, змінюється швидкість ідеального холостого ходу $\omega_0 = \frac{U}{k\phi}$, а жорсткість характеристик залишається незмінною. Сімейство механічних характеристик, що відповідають різним напруженням на якорі, зображено на рис.5.7.

Для ряду виробничих механізмів у відповідність до вимог технологічного процесу іноді виникає необхідність збільшення робочої швидкості, що перевищує швидкість при $U = U_H$ і $\phi = \phi_H$. Цього досягається ослабленням магнітного потоку двигуна (зменшенням струму збудження).

Якщо зменшене значення магнітного потоку $\phi_{осл} = \phi' = \alpha \cdot \phi$, так само, де $\alpha < 1$, то нове, збільшене значення швидкості ідеального холостого ходу буде

$$\omega'_0 = \frac{U}{k \cdot \phi'} = \frac{U}{k \cdot \alpha \cdot \phi} = \frac{\omega_0}{\alpha}.$$

При ослабленому потоці і попередньому значенні моменту струм якоря збільшується. Його можна знайти з рівняння моменту

$$M = k \cdot \phi' \cdot I_{я}' = k \cdot \alpha \cdot \phi \cdot I_{я}' = k \cdot \phi \cdot I_{я} = const.$$

Звідки

$$I_{я}' = I_{я} \cdot \frac{\phi}{\phi'} = \frac{I_{я}}{\alpha}.$$

Рівняння механічної характеристики при ослабленому потоці буде

$$\omega = \frac{\omega_0}{\alpha} - \frac{R_{\beta}}{(k \cdot \alpha \cdot \phi)^2} \cdot M = \frac{\omega_0}{\alpha} - \frac{\Delta\omega}{\alpha^2}.$$

де $\Delta\omega$ - перепад швидкості при номінальному потоці.

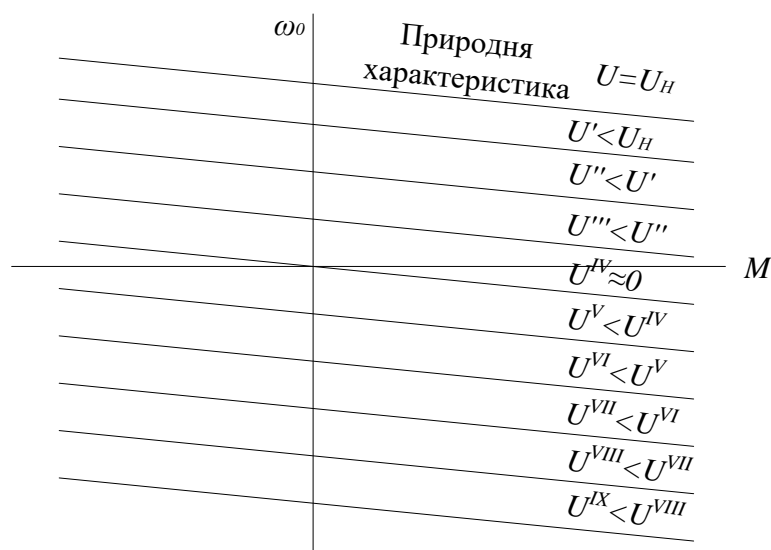


Рис.5.7.

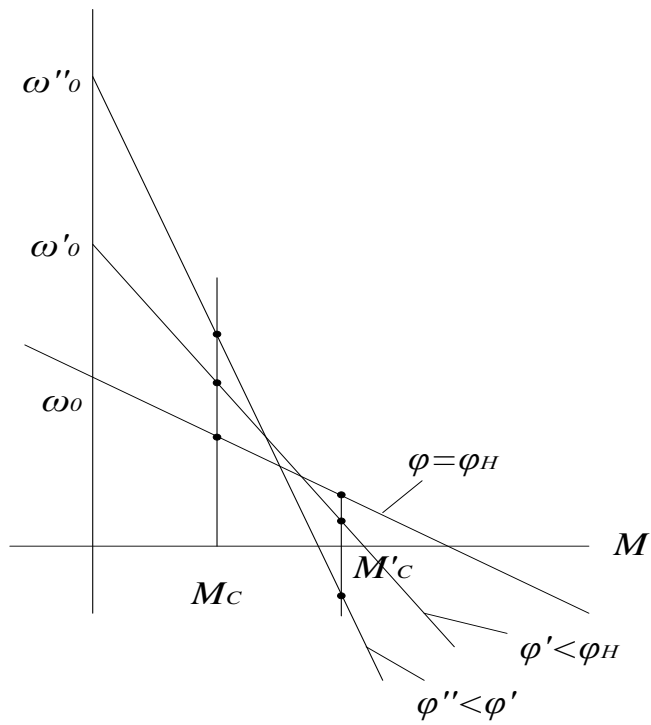


Рис.5.8.

Ослаблення потоку викликає збільшення не тільки ω_0 , але і швидкості якоря двигуна (при навантаженнях, допустимих за умовами комутації), що, власне, і потрібно. Але при навантаженнях, що не допустимі за умовами комутації, швидкість буде зменшуватися, і двигун може перейти в гальмівній режим, що зображено на рис.5.8, де зображено сімейство механічних характеристик двигуна, що відповідають різним значенням магнітного потоку.