

## Лекція №7. Розрахунок механічних характеристик двигуна незалежного збудження.

### 7.1. Розрахунок опорів якоря.

Для розрахунку та побудови природної або штучної механічної характеристики ДНЗ досить знати координати 2-х точок, оскільки його механічні характеристики є прямими лініями. Ці 2 точки можуть бути будь-якими. Однак побудову природної характеристики зручно проводити по точках, одна з яких відповідає координатам  $\omega = \omega_0$ ,  $M = 0$ , а інша координатами,  $\omega = \omega_H$ ,  $M = M_H$ .

Для знаходження цих точок необхідно знати паспортні дані двигуна і опір обмотки якоря в нагрітому стані (частіше при  $t = 75^\circ \text{C}$ ).

**Швидкість  $\omega_0$  визначається виходячи з таких принципів:**

$$\omega_0 = \frac{U}{k \cdot \phi} = \frac{U}{k \cdot \phi} \cdot \frac{\omega_H}{\omega_H} = \frac{U}{E_H} \cdot \omega_H = \frac{U \cdot \omega_H}{U - I_{яH} \cdot R_{я}}$$

**Якщо  $R_{я}$  невідомий, його можна орієнтовно визначати за втратами в міді, виходячи з відомого положення, що при навантаженні, що відповідає максимальному ККД змінні втрати рівні постійним. Оскільки поблизу максимуму ККД змінюється мало, можна вважати, що він максимальний при номінальному навантаженні, тобто при  $P_H$ .**

**Повні втрати при номінальному навантаженні**

$$\Delta P = U_H \cdot I_{яH} - P_H.$$

Номінальні втрати в міді в цьому випадку дорівнюють половині повних

$$\text{втрат } \Delta P_M = \frac{\Delta P_H}{2} = I_{яH}^2 \cdot R_{я} = \frac{U_H \cdot I_{яH} - P_H}{2}.$$

Звідси

$$\begin{aligned} R_{я} &= \frac{\Delta P_H}{2I_{яH}^2} = \frac{U_H \cdot I_{яH} - P_H}{2I_{яH}^2} = \frac{U_H}{2I_{яH}} - \frac{P_H}{2I_{яH}^2} \cdot \frac{U_H}{U_H} = \frac{1}{2} R_H - \frac{1}{2} \cdot \frac{P_H \cdot R_H}{U_H \cdot I_{яH}} = \\ &= 0,5R_H \cdot \left(1 - \frac{P_H}{U_H \cdot I_{яH}}\right) = 0,5R_H \cdot (1 - \eta_H). \end{aligned}$$

Для генератора:

$$R_{я} = 0,5R_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right).$$

Для двигунів послідовного збудження:

$$R_{я} \cong 0,75 \cdot R_H (1 - \eta_H).$$

Для краново-металургійних двигунів змішаного збудження:

$$R_{я} \cong 0,6R_H \cdot (1 - \eta_H).$$

Номінальний момент двигателя:

$$M_H = k \cdot \phi \cdot I_{ЯН} = \frac{U - I_{ЯН} \cdot R_{Я}}{\omega_H} \cdot I_{ЯН}.$$

Штучна характеристика, що відповідає введенню в коло якоря додаткового опору, розраховується і будується також за двома точками з координатами:  $\omega = \omega_0$ ;  $M = 0$ ;  $\omega = \omega_{ш}$ ,  $M = M_H$ . Швидкість  $\omega_{ш}$  визначається

$$\omega_{ш} = \omega - \frac{R_{Я} + R_{доод}}{(k\phi)^2} \cdot M_H \text{ або } \omega_{ш} = \omega_0 \cdot \left[ 1 - \frac{I_{ЯН} \cdot (R_{Я} - R_{доод})}{U} \right].$$

Механічна характеристика може бути розрахована і побудована по точках з такими координатами:  $\omega = \omega_0$ ;  $M = 0$ ;  $\omega = 0$ ;

$$M = M_{КЗ} = k \cdot \phi \cdot I_{КЗ} = k \cdot \phi \cdot \frac{U}{R_{Я} + R_{дооб}}.$$

## 7.2. Природні і штучні механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження (ДПЗ)

Принципова схема ДПВ зображена на рис.7.1. Оскільки обмотка ДПЗ включена послідовно з обмоткою якоря, його магнітний потік є функцією струму якоря  $I_{Я}$  (навантаження). Рівняння рівноваги ЕРС якірного кола і рівняння моменту цього двигуна можна представити у вигляді:

$$U_{Я} = i_{Я} \cdot R_{Я\Sigma} + L_{Я\Sigma} \cdot \frac{di_{Я}}{dt} + W_B \cdot \frac{d\phi}{dt} + k\phi(i_{Я})\omega.$$

$$M = k \cdot \phi(i_{Я}) \cdot i_{Я}.$$

Тут  $R_{Я\Sigma} = R_{Я} + R_B + R_{Д.П.}$

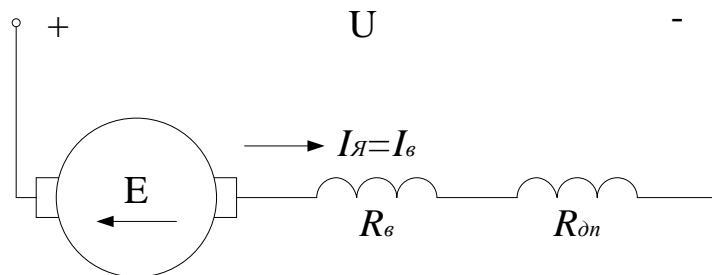


Рис.7.1.

Індуктивність розсіювання якірного кола  $L_{Я}$ , значно менше індуктивності  $L_3$  обмотки збудження, пов'язаної з головним потоком двигуна.

Тому в ряді випадків нею можна знехтувати. У сталому режимі  $\frac{di_{Я}}{dt} = \frac{d\phi}{dt} = 0$ .

Тому рівняння статичних електромагнітної та механічної характеристик можна представити у вигляді:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \phi(I_{Я})} - \frac{R_{Я\Sigma}}{k \cdot \phi(I_{Я})} \cdot I_{Я}; \quad \omega = \frac{U}{k \cdot \phi(I_{Я})} - \frac{R_{Я\Sigma}}{(k\phi)^2(I_{Я})} \cdot M;$$

При номінальному струмі магнітне коло ланцюг машини насичене. У зв'язку з цим для отримання досить докладного уявлення про характеристики двигуна можна скористатися кусково-лінійною апроксимацією характеристик і намагнічування (рис.7.2).

Початкова ділянка кривої намагнічування ( $I_{Я} \leq 0,3I_H$  і  $M \leq 0,15M_H$ ) з достатньою точністю можна замінити прямою  $\phi = \alpha \cdot I_{Я}$ . Тоді  $M = k \cdot \phi(I_{Я}) \cdot I_{Я} = k \cdot \alpha \cdot I_{Я}^2$ , де  $\alpha$  - коефіцієнт пропорційності.

$$\text{Тоді } I_{\beta} = \sqrt{\frac{M}{k \cdot \alpha}}.$$

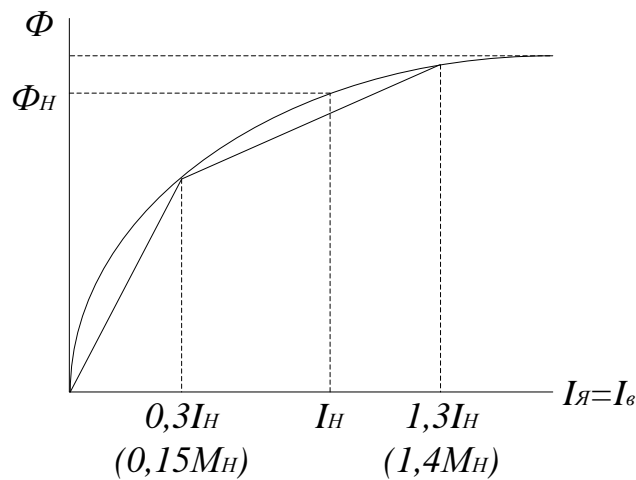


Рис.7.2.

Початкова ділянка кривої намагнічування ( $I_{Я} \leq 0,3I_H$  і  $M \leq 0,15M_H$ ) з достатньою точністю можна замінити прямою  $\phi = \alpha \cdot I_{Я}$ . Тоді  $M = k \cdot \phi(I_{Я}) \cdot I_{Я} = k \cdot \alpha \cdot I_{Я}^2$ , де  $\alpha$  - коефіцієнт пропорційності.

$$\text{Тоді } I_{\beta} = \sqrt{\frac{M}{k \cdot \alpha}}.$$

Підставивши це в рівняння електромеханічної характеристики, отримаємо:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{U}{k \cdot \phi(I_{Я})} - \frac{R_{Я\Sigma}}{k \cdot \phi(I_{Я})} \cdot I_{Я} = \frac{U}{k \cdot \alpha \cdot I_{Я}} - \frac{R_{Я\Sigma}}{k \cdot \alpha \cdot I_{Я}} \cdot I_{Я} = \\ &= \frac{U}{k\alpha \cdot \sqrt{\frac{M}{k\alpha}}} - \frac{R_{Я\Sigma}}{k \cdot \alpha} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B. \end{aligned}$$

Звідси випливає, що при малих навантаженнях механічна характеристика ДПЗ має гіперболічний характер.

Друга ділянка лінійної апроксимації кривої намагнічування, відповідає значенням  $I_{я}$  до  $1,3I_H$  і  $M$  до  $1,4M_H$ . Для цієї ділянки залежності потоку від струму і моменту мають вигляд  $\phi = \phi_0 + \alpha_1 \cdot I_{я}$  і  $\phi = \frac{\phi_0}{2} \cdot (1 + \sqrt{1 + M \cdot \varepsilon})$ , де

$\varepsilon = \frac{4\alpha_1}{k \cdot \phi_0^2}$ , де  $\alpha_1$  - теж коефіцієнт пропорційності, а  $\Phi_0$  - потік залишкової індукції. Якщо підставити значення  $\Phi$  у рівняння електромеханічної характеристики, отримаємо неявно виражену гіперболу.

При навантаженнях по струму  $I_{я} > 1,3I_H$  і моменту  $M > 1,4M_H$  магнітний потік машини стає практично постійним і механічна характеристика набуває лінійний характер. Швидкість двигуна зменшується лише за рахунок падіння напруги в якірному колі (рис.7.3).

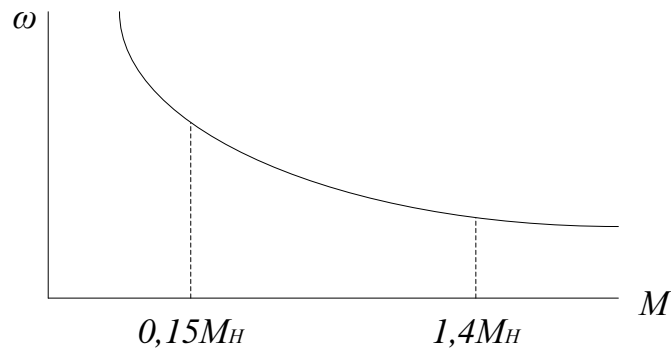


Рис.7.3.

При практичних розрахунках отриманим рівнянням механічної характеристики (якщо скласти її окремі ділянки, що відповідають зазначеним вище навантаженням по струму і моменту) користуватися не можна, тому що воно отримане в припущенні ненасиченої магнітної системи, а сучасні двигуни з такою системою не проектується. Тому при розрахунках електроприводів з ДПЗ застосовують графічні і графоаналітичні методи з використанням експериментальних залежностей його швидкості, моменту і потоку від струму якоря. Ці залежності наводяться в каталогах для кожного типу двигунів в абсолютних, а у довідниках – у відносних одиницях у вигляді універсальних характеристик для двигунів до 10 кВт і вище 10кВт (див. рис.7.4).

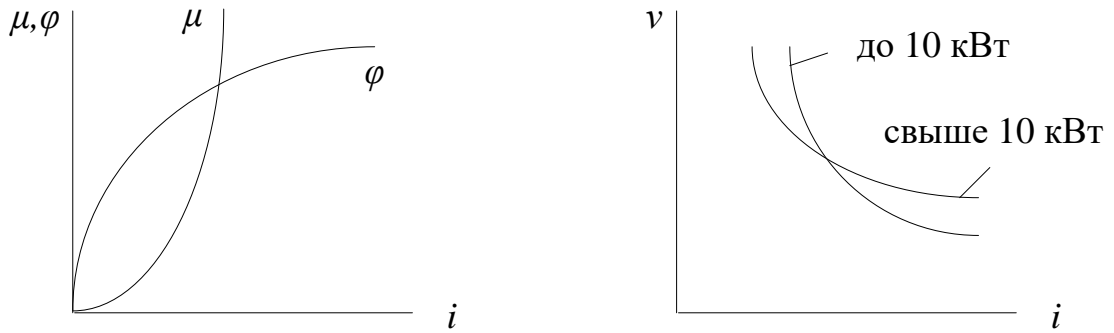


Рис.7.4.

Знаючи номінальні дані двигуна і користуючись цими універсальними характеристиками, можна, задаючись різними значеннями струму якоря, знайти  $\omega$  і  $M$  по кривих  $\mu = f(i)$  і  $\nu = f(i)$  природну характеристику  $\omega = f(M)$ . Однак потрібно пам'ятати, що це буде залежність швидкості від моменту на валу.

Зазвичай ці криві для ДПЗ серії ДП, Д, МП, тобто тих двигунів, які застосовуються найчастіше в магістральному електротранспорті, трамваях, самохідних вагонах, засобах внутрішньозаводського транспорту і т.п.

Штучні механічні характеристики ДПЗ можна отримати тим же способом що і для ДНЗ.

При зміні напруги на затискачах двигуна характеристики переміщуються паралельно природною вгору або вниз (див. рис.7.5).

При введенні опору якірне коло двигуна швидкість його зменшується, характеристики зміщуються вниз, вони стають більш м'якими (рис.7.6).

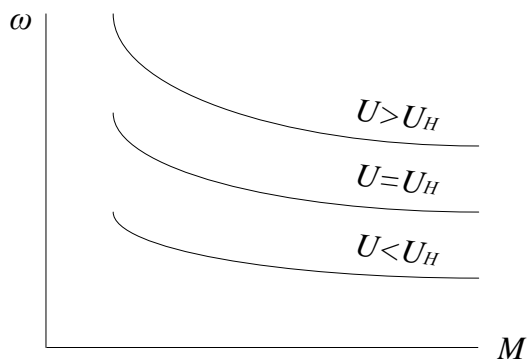


Рис.7.5.

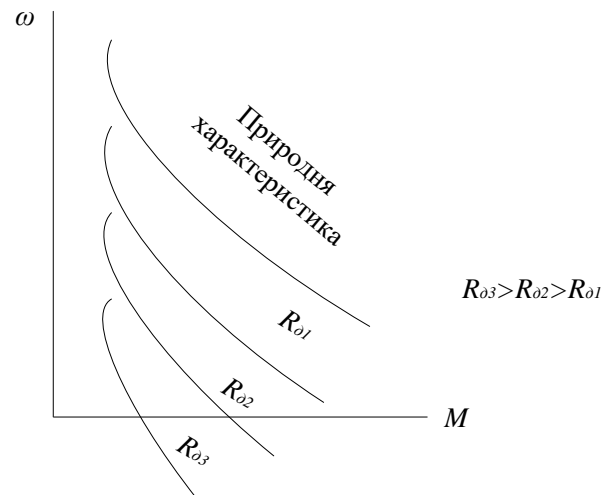


Рис.7.6.

Для отримання швидкостей двигуна при  $U = \text{const}$ , що перевищують швидкості на природній характеристиці, послаблюється магнітний потік машини шунтуванням обмотки збудження (рис.7.7).

Характеристика при ослабленому потоці розташовується вище природної, але вона м'якша (її жорсткість при кожній даній швидкості менше, ніж на природній характеристиці (рис.7.8)).

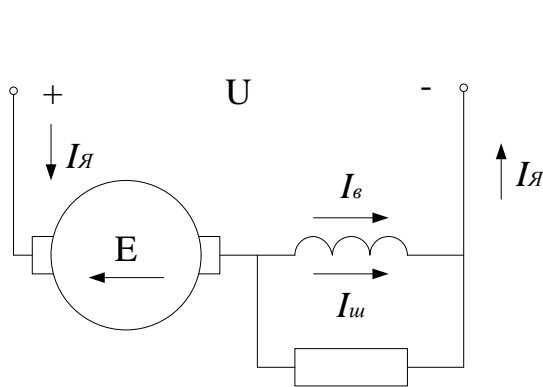


Рис.7.7.

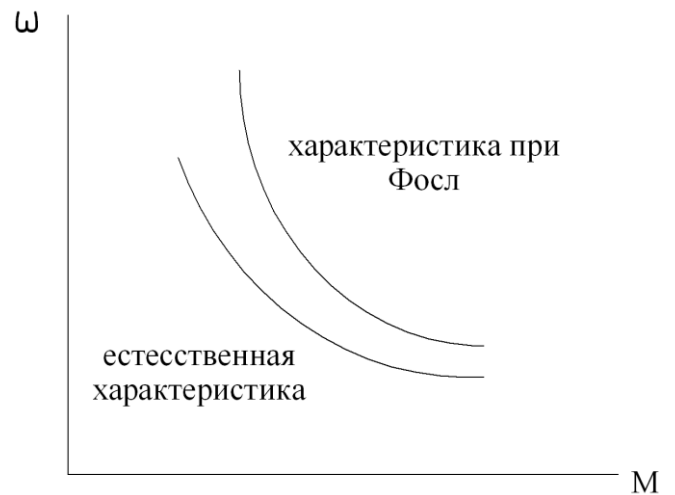


Рис.7.8.

З наведених графіків видно, що швидкість ДПЗ при роботі як на природних, так і на штучних характеристиках, при збільшенні навантаження різко падає. Тому ДПЗ непридатні для електроприводів, що вимагають сталої швидкості при змінному навантаженні.

При ідеальному холостому ході швидкість ДПЗ теоретично може зрости до нескінченності. Насправді завжди є тертя в підшипниках, в повітря і т.п. і є потік залишкової індукції, що становить  $(0,02 \div 0,09) \Phi_H$ . Тому швидкість не зростає до нескінченності, але може в  $5 \div 7$  разів перевищувати номінальну, і щоб уникнути небезпеки розносу двигуна його не можна з приводним механізмом з'єднувати за допомогою пасової та ланцюгової передачі. З урахуванням можливого різкого збільшення швидкості при скиданні навантаження ДПЗ розраховують на  $\omega_{don} \cong 4\omega_H$ .