

Лекція №16. Електромеханічні властивості синхронного двигуна.

16.1. Загальні положення.

Хоча основною сферою застосування синхронних двигунів є нерегульований електропривод, проте при частотному керуванні вони використовуються і в регульованих електроприводах. Принципова схема СД зображена на рис.16.1.

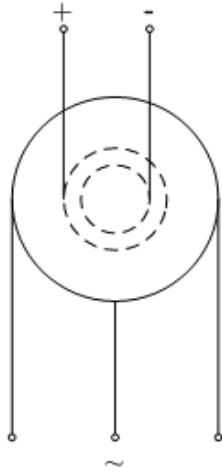


Рис.16.1.

Як правило, СД виконуються з явновраженими полюсами.

При роботі СД в двигунному режимі його ротор відстає від обертowego магнітного поля на кут $\theta_{\text{эл}} = \phi_{0\text{эл}} - \phi_{\text{эл}} = \omega_{0\text{эл}} \cdot t - \omega_{\text{эл}} \cdot t$. При номінальному навантаженні цей кут дорівнює $\theta_{\text{эл}} = 20 - 30$ електричних градусів.

Рівняння кутової характеристики СД, як відомо з курсу електричних машин, має вигляд:

$$M = \frac{3U_1 \cdot E}{\omega_0 \cdot x_{1d}} \cdot \sin \theta_{\text{эл}} + \frac{3U_1^2}{2\omega_0} \cdot \left(\frac{1}{x_{1q}} - \frac{1}{x_{1d}} \right) \cdot \sin 2\theta_{\text{эл}} = M' + M''$$

де ω_0 – кутова швидкість магнітного поля, x_{1q} і x_{1d} – індуктивні опору по попере-чній і поздовжній осі машини. Кутова характеристика зображена на рис.16.2.

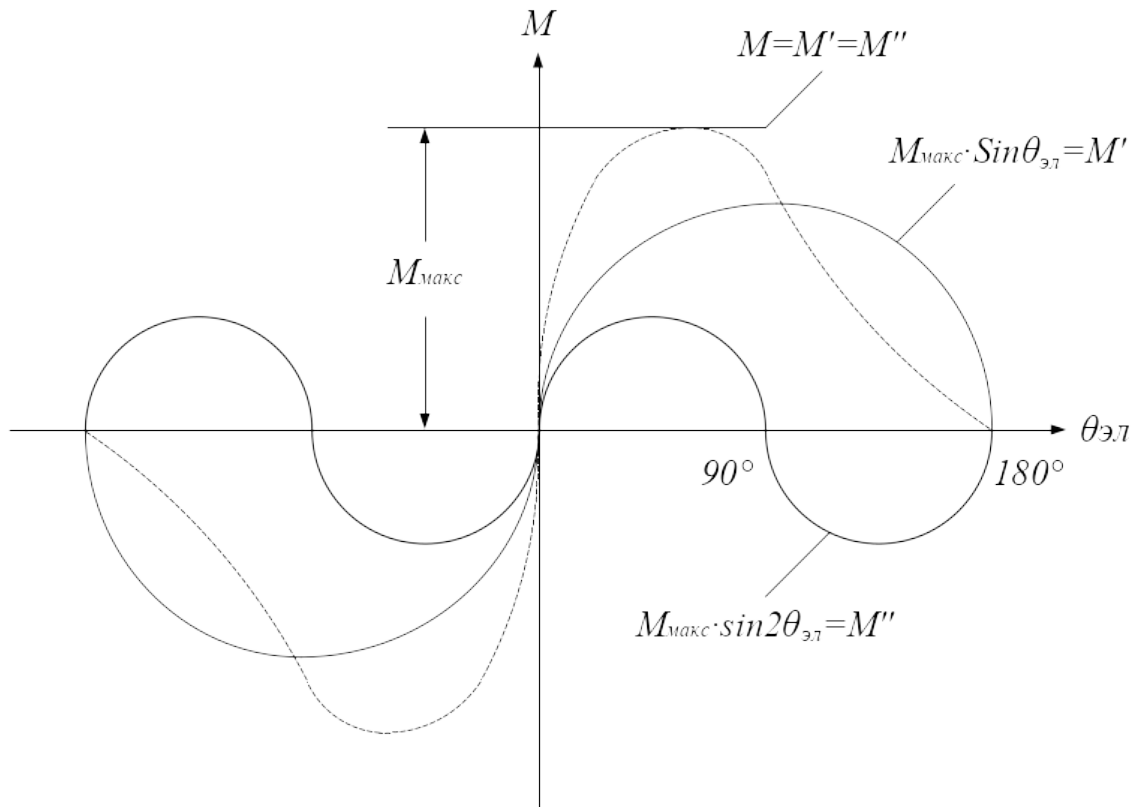


Рис.16.2.

Максимальний момент, що визначає перевантажувальну здатність двигуна, становить $(2 \div 3) M_H$, тобто СД менш чутливий до зниження напруги зовнішньої мережі, ніж АД, так як основний момент M' , зумовлений взаємодією обертаючого поля статора з полем ротора пропорційний U_1 , а реактивний момент M'' , хоча і пропорційний U_{12} , але майже не впливає на перевантажувальну здатність двигуна (2-га складова в рівнянні кутової характеристики).

Робочу ділянку кутової характеристики з достатньою для інженерних задач точністю можна замінити лінійною залежністю

$$M \simeq M_H \cdot \frac{\theta_{эл}}{\theta_{эл.н}} = C_{эм} \cdot \theta$$

де $C_{эм}$ - коефіцієнт жорсткості пружного електромагнітного зв'язку між полем статора і ротора.

Диференціюючи цей вираз, можна отримати наближене рівняння динамічної механічної характеристики СД.

$$\frac{dM}{dt} = C_{эм} \cdot \frac{d\theta}{dt} = C_{эм} \cdot (\omega_0 - \omega)$$

Так як

$$\theta = \frac{\omega_0 - \omega}{d/dt}$$

У раніше розглянутій двомасовій пружній механічній системі, було встановлено, що момент пружного взаємодії $M_{12} = C_{12} \cdot (\phi_1 - \phi_2)$.

Диференціювання цієї залежності дає рівняння, що збігається за формою

з рівнянням
$$\frac{dM}{dt} = C_{\text{ЭМ}} \cdot (\omega_0 - \omega)$$

Дійсно,
$$\frac{dM_{12}}{dt} = C_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2)$$

Це підтверджує аналогію між електромагнітними взаємодіями в СД і механічній пружині. Тому механічну модель, що відображає особливості синхронного двигуна, можна представити у вигляді, зображеному на рис.16.3.

Тут електромагнітний зв'язок між полями статора і ротора СД замінений пружиною з жорсткістю $C_{\text{ЕМ}}$, а наведений момент інерції ротора і механізму $J_{\text{пр}}$, представлений підвішеною на цій пружині масою «m». Очевидно, механічний аналог СД являє собою ідеальний коливальний контур, в якому виникаючі з тих чи інших причин коливання не загасають.

Дійсно, підвищена схильність до коливань при зміні навантаження, є характерною особливістю СД. Для цього їх проектують з демпферною обмоткою, що виконується у вигляді білячої клітки на полюсах ротора. При виникненні коливань ротора, тобто ковзання, вона створює асинхронний момент, який, в першому наближенні можна вважати пропорційним ковзанню. З урахуванням цього моменту результуючий момент СД в динамічному режимі можна представити у вигляді суми синхронного і асинхронного моментів.

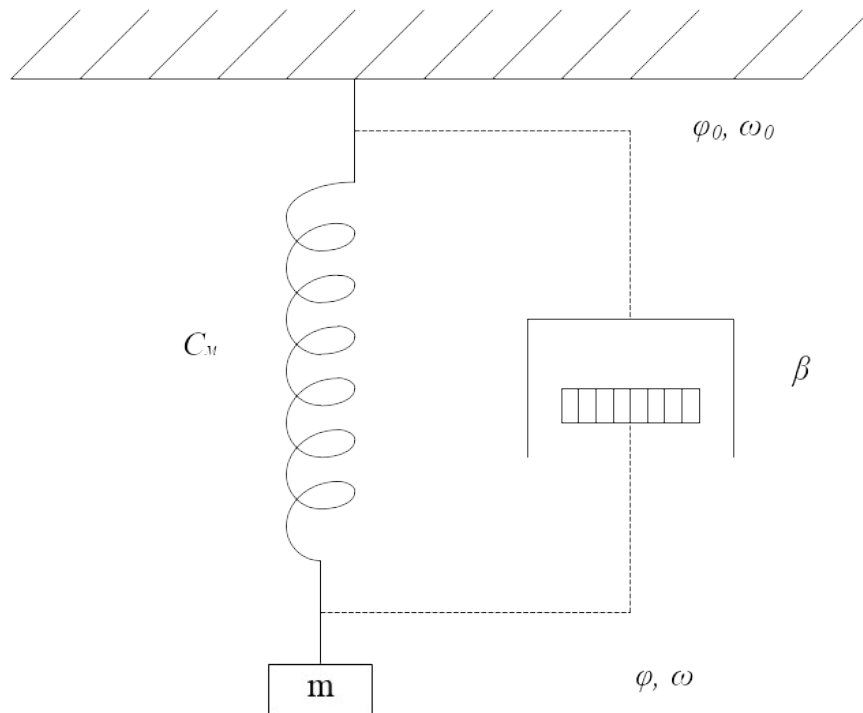


Рис.16.3.

$$\begin{aligned}
 M &= M_{\text{син}} + M_{\text{ас}} = M_{\text{н}} \cdot \frac{\theta_{\text{ЕЛ}}}{\theta_{\text{ЕЛ.Н}}} + \frac{2 \cdot M_{\text{кр}}}{S_{\text{кр}}} \cdot S = \\
 &= C_{\text{ем}} \cdot \theta + \frac{2 \cdot M_{\text{кр}}}{S_{\text{кр}}} \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = C_{\text{ем}} \cdot \theta + \beta(\omega_0 - \omega)
 \end{aligned}$$

16.2. Структурна схема СД.

$$\theta = \frac{\omega_0 - \omega}{\frac{d}{dt}} = \frac{\omega_0 - \omega}{p} \quad p = \frac{d}{dt}$$

Так як $\frac{d}{dt}$, де $p = \frac{d}{dt}$ – оператор, рівняння механічної характеристики СД в операторній формі можна записати у вигляді

$$M = \left(\frac{C_{\text{ем}}}{p} + \beta \right) \cdot (\omega_0 - \omega)$$

Структурна схема, що відповідає цьому рівнянню, наведена на рис.16.4. У наведених виразах β - це модуль жорсткості лінійної частини механічної характеристики для асинхронної складової моменту, зумовленого дією демпфер-ної обмотки.

З структурної схеми слідує, що асинхронний момент, створюваний демпфер-ною обмоткою, впливає, аналогічно в'язкому тертю. Тому схема

механічного аналога СД з урахуванням наявності демпферної обмотки (рис.16.3) повинна бути доповнена механічним демпфером з в'язким тертям.

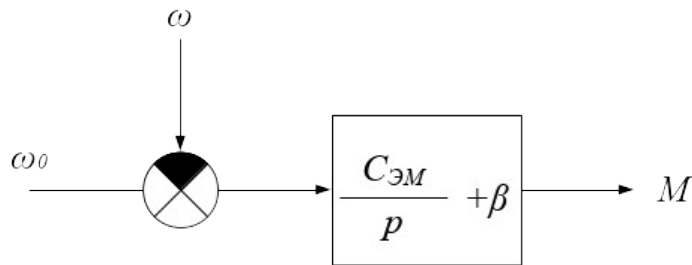


Рис.16.4.

Структурна схема, що відповідає цьому рівнянню, наведена на рис.16.4. У наведених виразах β - це модуль жорсткості лінійної частини механічної характеристики для асинхронної складової моменту, зумовленого дією демпфер-ної обмотки.

З структурної схеми слідує, що асинхронний момент, створюваний демпфер-ною обмоткою, впливає, аналогічно в'язкому тертю. Тому схема механічного аналога СД з урахуванням наявності демпферної обмотки (рис.16.3) повинна бути доповнена механічним демпфером з в'язким тертям.

При $p = 0$ отримаємо рівняння статичної механічної характеристики СД з $\omega = \omega_0 = \text{const}$ при будь-яких значеннях M . Дійсно, з виразу

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\frac{C_{эм}}{p} + \beta}$$

впливає, що при $p = 0$ і $\omega = \omega_0$ статична механічна характеристика має вигляд прямої (рис.16.5), що паралельна осі моментів в межах перевантажувальної здатності двигуна, тому що при навантаженні, що перевищує $M_{\text{макс}} = \lambda_H \cdot M_H$ двигун випадає із синхронізму.

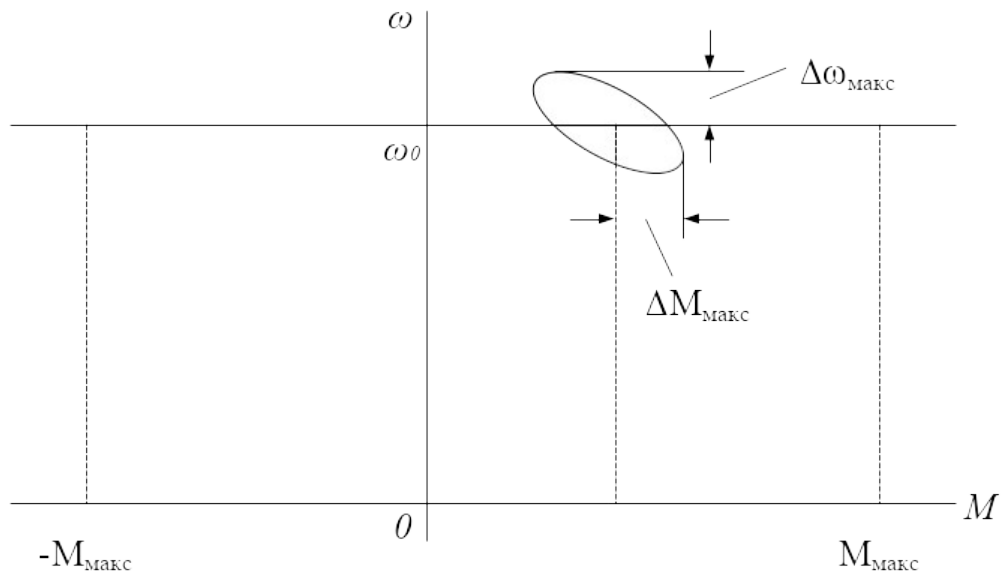


Рис.16.5.

У динамічних режимах, механічна характеристика СД не є абсолютно жорсткою. В усталеному динамічному режимі вимушених коливань змін моменту з амплітудою $\Delta M_{\max}$ і відповідних змін кута $\theta_{\text{ел}}$ відповідають певні амплітуди $\Delta \omega_{\max}$ коливань швидкості і динамічна характеристика має вигляд еліпса. Її динамічна жорсткість визначається співвідношенням:

$$\beta_{\text{дин}} = - \left(\frac{C_{\text{эм}}}{p} + \beta \right)$$